

# 4. ULUSAL YAPI FİZİĞİ VE ÇEVRE KONTROLÜ KONGRESİ



## Bildiriler Kitabı

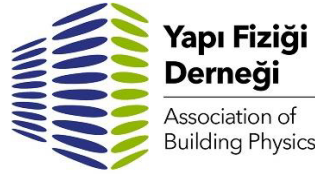
02-03 Mayıs 2024 • İTÜ Taşkışla, İstanbul



[www.yapifizigiderneği.org](http://www.yapifizigiderneği.org)

# 4. ULUSAL YAPI FİZİĞİ VE ÇEVRE KONTROLÜ KONGRESİ

02-03 Mayıs 2024  
İTÜ Taşkışla, İstanbul



[www.yapifizigidernegi.org](http://www.yapifizigidernegi.org)

# 4. ULUSAL YAPI FİZİĞİ VE ÇEVRE KONTROLÜ KONGRESİ

02-03 Mayıs 2024 / İstanbul, Türkiye

**Editörler: Prof.Dr.Gül Koçlar Oral, Arş.Gör.Eda Köse Murathan, Arş.Gör.Zehra Aybike Kılıç, Arş.Gör.Mehmet Akif Aydın, Arş.Gör.Halime Firdevs Taşkın, Arş.Gör.Elif Ranaer Harputluoğlu, Arş.Gör.Sümeyye Sena Bastem, Arş.Gör.Yusuf Salih Diken**

İstanbul, 2024

**e-ISBN 978-975-561-675-9**

İTÜ Yayınevi. No: 2024.2/30

© İTÜ Yayınevi

Bu kitabın her hakkı saklıdır ve tüm yayın hakları "İTÜ Yayınevi"ne aittir. Bu kitabın tamamı ya da herhangi bir bölümü, yayınevinin izni olmaksızın yayınlanamaz, basılamaz, mikrofilme çekilemez, doğrudan veya dolaylı olarak kullanılamaz. Teksir, fotokopi veya başka tekniklerle çoğaltılamaz, bilgisayarda veya dizgi makinelerinde işlenebilecek bir ortama aktarılamaz. Kitapta yayınlanan tüm metin ve görsellerin sorumluluğu yazar/yazarlara aittir.

Ulusal Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi Bildiriler Kitabı (4.:2024: İstanbul, Türkiye)  
4. Ulusal Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi Bildiriler Kitabı, 02-03 Mayıs 2024  
İstanbul / Editörler, Gül Koçlar Oral, Eda Köse Murathan, Zehra Aybike Kılıç, Mehmet Akif Aydın,  
Halime Firdevs Taşkın, Elif Ranaer Harputluoğlu, Sümeyye Sena Bastem, Yusuf Salih Diken  
İstanbul: İTÜ Yayınevi, 2024.  
560 sayfa – 1. Basım.- (İTÜ Yayınevi. No: 2024.2/30)  
ISBN 978-975-561-675-9  
1. Mimarlık -- Kongreler 2. Yapılar -- Kongreler 3. Binalar -- Kongreler  
NA2850.İ255 2023

CIP

## İTÜ YAYINEVİ

Sertifika No: 70051

İTÜ Ayazağa Kampüsü

Mustafa İnan Kütüphanesi

34469 Maslak İSTANBUL

0212 285 75 05

[www.ituyayinevi.itu.edu.tr](http://www.ituyayinevi.itu.edu.tr) / [ituyayinevi@itu.edu.tr](mailto:ituyayinevi@itu.edu.tr)



## 4. ULUSAL YAPI FİZİĞİ VE ÇEVRE KONTROLÜ KONGRESİ

### Düzenleme Kurulu

Prof. Dr. Gül Koçlar Oral  
Prof. Dr. Alpin Köknel Yener  
Doç. Dr. Gülten Manioğlu  
Doç. Dr. Nuri Serteser  
Doç. Dr. Şule Filiz Akşit  
Doç. Dr. Tarık Serhat Bozkurt  
Arş. Gör. Dr. Feride Şener Yılmaz  
Arş. Gör. Eda Köse Murathan  
Arş. Gör. Zehra Aybike Kılıç  
Arş. Gör. Mehmet Akif Aydın  
Arş. Gör. Halime Firdevs Taşkın  
Arş. Gör. Elif Ranaer Harputluoğlu  
Arş. Gör. Sümeyye Sena Bastem  
Arş. Gör. Yusuf Salih Diken

### Sekreteryaya

Arş. Gör. Zehra Aybike Kılıç  
Arş. Gör. Halime Firdevs Taşkın  
Arş. Gör. Sümeyye Sena Bastem

### Bilim Kurulu

Prof. Dr. Alpin Köknel Yener (İTÜ)  
Prof. Dr. Aslıhan Ünlü (OZU)  
Prof. Dr. Gül Koçlar Oral (İTÜ)  
Prof. Dr. Gülay Zorer Gedik (YTÜ)  
Prof. Dr. Leyla Tanaçan (İTÜ)  
Prof. Dr. Mustafa Özgünler (MSGSÜ)  
Prof. Dr. Neşe Yüğrük Akdağ (YTÜ)  
Prof. Dr. Nil Türkeri (İTÜ)  
Prof. Dr. Rana Kutlu (İKÜ)  
Prof. Dr. Rengin Ünver (YTÜ)  
Prof. Dr. Türkan Göksal Özbalta (Ege Ü.)  
Doç. Dr. Gülten Manioğlu (İTÜ)  
Doç. Dr. Halet Almıla Büyüктаşkın  
Doç. Dr. İlker Karadağ (MCBÜ)  
Doç. Dr. Nuri Serteser (İTÜ)  
Doç. Dr. Suzi Dilara Mangan (YTÜ)  
Doç. Dr. Şule Filiz Akşit (İTÜ)  
Doç. Dr. Tarık Serhat Bozkurt (İTÜ)  
Doç. Dr. Yiğit Yılmaz (BAU)  
Dr. Öğr. Üyesi İdil Erdemir Kocagil (OZU)  
Dr. Öğr. Üyesi Mine Aşçıgil Dinçer (BAU)  
Dr. Öğr. Üyesi Neşe Ganiç Sağlam (OZU)  
Dr. Öğr. Üyesi Özlem Duran (Salford U.)

# İÇİNDEKİLER

Karadeniz Bölgesinde Eski ve Yeni Dokunun İklimlendirme Enerji Tüketimlerinin Ada Bazında Kıyaslanması.....1 Betül TÜRKMEN, Hazal MERT	1
Ofis Bina Cephe Sistemlerinin Karşılaştırmalı Karbon Analizi.....11 Elif Tuğba YALAZ, Huriye ÖNAL, Ayşegül TERECİ	11
Eşik Mekân Kavramı Üzerinden Bir Kentsel İşitsel Peyzaj Çalışması.....20 Şahan İraz KORKMAZ, Muammer YAMAN	20
Yapı Bilgi Modellemesi Uygulama Planının Döngüsel Yapı Tasarımı Açısından Ele Alınması: Raylı Sistem Projeleri Örneği.....30 Semin ERDEM, Meryem Birgül ÇOLAKOĞLU	30
Camilerin Tasarım Parametrelerinde Isıl Konfor ve Enerji Tüketim İlişkisi.....40 Ahmet Bircan ATMACA, Gülay ZORER GEDİK	40
Hacim Akustiği Parametrelerinin Optimum Değerlerinde İşitsel Duyarlılık Ayrımlarının Etkisi.....49 Hazal ŞENTÜRK, Neşe YÜĞRÜK AKDAĞ	49
Sürdürülebilir Yapı Malzemelerinin Mimaride Akustik Amaçlı Kullanılabilirliğinin İncelenmesi.....57 Esra ERKAN, Mehmet Nuri İLGÜREL	57
Farklı Evrişimli Sinir Ağı Modellerinin Deprem Sonrası Hasar Tespiti Sürecinde Kullanımlarının Karşılaştırılması.....67 Raşit Eren CANGÜR, Togan TONG	67
Pencerele Entegre İç Ortam Hava Kalitesini Düzenleyen Bir Akıllı Havalandırma Cihazı.....77 Caner GÖÇER	77
Bina Cephe Eğiminin Isıtma ve Soğutma Yükleri Üzerindeki Etkisinin Değerlendirilmesi.....91 Ebru YÜKSEL MEYDANAL, Gülten MANİOĞLU	91
İklim Değişikliği Kader Değildir.....101 Leman AKMAN, Mehmet Şener KÜÇÜKDOĞU	101
Taguchi Tabanlı Yanıt Yüzey Yöntemi Kullanılarak Enerji Verimliliği ve Isıl Konforun Optimize Edilmesi: Çok Amaçlı Optimizasyon Yaklaşımı.....108 Resul ÖZLÜK, Yusuf YILDIZ, Türkan GÖKSAL ÖZBALTA	108
Binalarda Güneşli Performansı Değerlendirme Metodları ve Kullanım Alanları.....117 Semih Göksel YILDIRIM, Stuart Werner BAUR, Mehmet Şener KÜÇÜKDOĞU	117
Mimari Olarak Görünür Yapısal Çelik Elemanlarda Pasif Yangın Koruma Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....129 Esra KARACA, Halet Almila BÜYÜKTAŞKIN	129
Çok Katlı Yapılarda Tek ya da Çift Cepheden Güneşli Almanın Görsel ve Termal Konfora Etkisi.....139 Nureşan SÖNMEZ, Arzu CILASUN KUNDURACI	139
Yarım Hücre Güneş Panellerinin Energyplus ile Simülasyonu İçin Geliştirilmiş Yeni Bir Yaklaşım.....150 Gözde GALİ TAŞÇI, Alpay AKGÜÇ	150

<b>Afet Sonrası Geçici Barınmada Sıfır Karbon Yaklaşımı.....</b>	<b>160</b>
Zeynep GÜLER, Asude Yaren ÜNAL	
<b>Biyomimikri Aracılıyla Enerji Etkin Yapı Tasarımı: Doğal Aydınlatma Temalı Yapı Tasarım Önerisinin İncelenmesi.....</b>	<b>169</b>
Tuğba TEMURTAŞ, Ümit Turgay ARPACIOĞLU	
<b>Yapı Tasarımı ve İşletiminde Bina Kullanıcılarının Dikkate Alınması: Türkiye Bağlamı.....</b>	<b>179</b>
Fatih TOPAK	
<b>Görsel Konfor Kriterlerinin Oled Aydınlatma İle Değerlendirilmesi.....</b>	<b>187</b>
Ayşe Nihan AVCI	
<b>Tasarım Alanı Keşfinde Üç Farklı Vekil Modelin Etkinlik Düzeyinin İrdelenmesi.....</b>	<b>196</b>
Ayşe Rüya EFE, Suzi Dilara MANGAN	
<b>Sıfır Karbona Geçişte Bina Sektöründe Döngüsel Ekonominin Benimsenmesi: Engeller Ve İtici Güçler.....</b>	<b>205</b>
Selimhan SEVİNDİK, Suzi Dilara MANGAN	
<b>Işık Rafı Derinliğinin Günişliği Performansı ve Hava Akış Karakteristiğine Etkisinin Değerlendirilmesi.....</b>	<b>215</b>
Zeynep KESKİN, İlker KARADAĞ	
<b>Mevcut Bir Yerleşkenin Ekoköy Bağlamında Geliştirilmesi ve Enerji Etkinlik Açısından Değerlendirilmesi.....</b>	<b>223</b>
Aslıhan ULA, Gül KOÇLAR ORAL	
<b>Yükseköğretim Mekânları Envanter Sınıflandırma Sistemi (Ymess) ile İç Mekân Kalitesine İlişkin Ölçümler- Trakya Üniversitesi Örneği.....</b>	<b>235</b>
Filiz UMAROĞULLARI, Esmâ MIHLAYANLAR, Semiha KARTAL	
<b>Bir Araştırma Merkez Binasının "Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik" Bağlamında İncelenmesi ve Uygunluk Analizi.....</b>	<b>245</b>
Ebru Melis ÖZDEMİR, Ayhan TÜRKER, Füsün DEMİREL	
<b>Mevcut Binalarda Sismik ve Enerji İyileştirme.....</b>	<b>252</b>
Hilal GÜNAY	
<b>Bina Performans Optimizasyonu ve Bina Kullanıcı Konforunun Artırılması İçin Takip Kavramlarının İncelenmesi .....</b>	<b>263</b>
Emel UÇAK, Fatih TOPAK, Mehmet Koray PEKERİÇLİ	
<b>Enerji Etkin Yerleşme ve Bina Tasarımında Yapılaşma Şartlarının Etkisi.....</b>	<b>274</b>
Seren ADALIOĞLU, Şule Filiz AKŞİT	
<b>TS 825 Standardına Uygun Mevcut Konut Binalarının Enerji Performansının İyileştirilmesi.....</b>	<b>284</b>
Sinem BÜYÜKKARDAŞLAR, Fatih YAZICIOĞLU	
<b>Cephe Kaplama Malzemesinin Güneşi Soğurma Oranının Yapının Isıl Performansına Etkisi.....</b>	<b>294</b>
Beliz KARANFİL, Fatih YAZICIOĞLU	
<b>Yapı Yüzü Renk Düzenlemeleri ve Bir Örnekleme.....</b>	<b>304</b>
F. Rengin ÜNVER	
<b>Sıcak Nemli İklim Bölgesinde Bulunan Ofis Binası İçin İklim Duyarlı Gölgeleme Elemanı Tasarımı.....</b>	<b>314</b>
Elif YAPICI, Onur YALÇIN, Ecem EDİS	

<b>Bina Yöneliminin Ilıman-Kuru, Sıcak-Kuru Ve Soğuk İklim Tiplerine Göre Taş Bina Kabuğunun Higrotermal Enerji Performansına Etkisi.....</b>	<b>325</b>
Tuğba YILDIZ, Leyla TANAÇAN	
<b>Lisansüstü Eğitimde Enerji Korunumu Çalışmalarına Bir Örnek: Geleneksel Cumalıkızık Evleri.....</b>	<b>337</b>
Gülten MANİOĞLU, Eda KÖSE MURATHAN, Elif RANAER HARPUTLUOĞLU, Halime Firdevs TAŞKIN	
<b>Doğal Aydınlatma Sistemi Tasarımında Veri Madenciliği Modellerinin Kullanımına Yönelik Bir Araştırma.....</b>	<b>349</b>
Zehra Aybike KILIÇ, Alpin KÖKNEL YENER	
<b>Eğitim Binalarında Doğal Aydınlatma Tasarımının Güncel Mevzuat Kapsamında Değerlendirilmesi.....</b>	<b>360</b>
Elif RANAER HARPUTLUOĞLU, Alpin KÖKNEL YENER	
<b>Yerleşmelerde Su Etkinliğinin Sağlanması: Manisa Tunca ve Dere Mahallesi Örneği.....</b>	<b>372</b>
Halime Firdevs TAŞKIN, Gülten MANİOĞLU	
<b>Bibliyometrik Analiz ile Tarihi Yapılarda Enerji Etkin İyileştirme Çalışmalarının İncelenmesi.....</b>	<b>382</b>
Sümeyye Sena BASTEM, Gül KOÇLAR ORAL	
<b>Leed- Eb O+M Değerlendirme Sistemi Kapsamında İyileştirilmiş Bir Endüstri Yapısı Örneği: Tuzla Baymak Makine Sanayi ve Ticaret A.Ş. ....</b>	<b>394</b>
Zeliha Banu YAVUZ PELVAN, Cansu Berat GÜLDAĞLI	
<b>Aynı İklim Sınıfındaki Yapı Kabuğunun Isı Yalıtım Değerini Belirleyen Özelliklerin İlgili Mevzuatlara Göre Karşılaştırılması: Portekiz, İspanya, İtalya ve Türkiye Örneği.....</b>	<b>408</b>
Şafak BEŞİROĞLU, Nuri SERTESER	
<b>Engelli Kullanıcıların Yangın Anında Tahliye Olanakları – Yönetmelikler Ne Söylüyor?.....</b>	<b>419</b>
Furkan ERUÇAR, Nuri SERTESER	
<b>Yapı Elemanları İçin Yangına Dayanım Performanslarının Uluslararası Standartlara Göre Test Prosedürlerinin İncelenmesi.....</b>	<b>427</b>
Şafak BEŞİROĞLU, Nuri SERTESER	
<b>Kullanıcı Konforu İçin Doğal Havalandırma Olanaklarının İncelenmesi - Çift Cidar Cepheli Bir Ofis Binası Örneği.....</b>	<b>438</b>
Sanam AEINFAR, Nuri SERTESER	
<b>Şerefiye Sarnıcı'nın Müzik İşlevine Yönelik Olarak Hacim Akustiği Açısından Değerlendirilmesi.....</b>	<b>449</b>
Beyza AKIN, Mehmet Nuri İLGÜREL	
<b>Yerleşmelerde Güneş Işınımından Optimum Yararlanılmasına Yönelik Bir Algoritma Önerisi.....</b>	<b>458</b>
Orçun FINDIK, Gül KOÇLAR ORAL	
<b>Bina Kabuğu Seçeneklerinin Enerji Harcamaları ve Karbon Değerleri Açısından Değerlendirilmesi: Mardin Örneği.....</b>	<b>468</b>
Emine Nur GÜNAYDIN, Gül KOÇLAR ORAL	
<b>Sıcak Nemli İklim Bölgelerinde Hacim Ölçeğinde Doğal Havalandırma Etkinliğinin İncelenmesi.....</b>	<b>481</b>
Hande ACARI, Gülten MANİOĞLU	
<b>Kentsel Dokuda Rüzgâr Enerjisi Kullanımının Tasarım Parametrelerine Bağlı Olarak Değerlendirilmesi Üzerine Bir Çalışma; İstanbul Örneği.....</b>	<b>490</b>
Ayşe YEŞİLYURT, Gül KOÇLAR ORAL	

## **Sektör bildirimleri**

<b>Bina Yangın Kompartımanlarında Tasarım ve Uygulama.....</b>	<b>504</b>
Elif ÇATAKLI	
<b>Dış Cephelerde Yangın Güvenliği.....</b>	<b>514</b>
Timur DİZ, Beyza TANYOL, Yiğit Kaan AKTAŞ	
<b>Konutlardaki Isı Yalıtım Kalınlığının Enerji Tüketimi Üzerindeki Etkileri.....</b>	<b>524</b>
Esra KAÇAR, Sanem ŞENLER ÖZBİL	
<b>Türkiye ve Avrupa Birliği Ülkelerinde Binalarda Enerji Verimliliği Stratejileri.....</b>	<b>534</b>
Timur DİZ, Beyza TANYOL, Yiğit Kaan AKTAŞ	



# SUNUŞ

Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü alanı, insanların yaşamlarının sağlıklı, konforlu, iklimle uyumlu, enerji etkin yapma çevrelerle sürdürülebilmesi hedefine yönelik çalışmaları kapsayan, profesyonel ve bilimsel bir uzmanlık alanıdır. Günümüzde yaşadığımız iklim değişikliği, enerji ve çevresel problemlere bir çözüm olarak ortaya çıkan sürdürülebilir ve enerji etkin yapma çevrelerin gerçekleştirilmesinde Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü konularının bütüncül bir yaklaşımla ele alınması, konu alanında uygun çözümlerin araştırılmasını ve tartışılmasını gerekli kılmaktadır.

Diğer taraftan günümüzde, bilginin erişilebilirliği, iletişimin artması farklı disiplinleri bir araya getirmekte, disiplinler arası ortak çalışmaları olanaklı kılan bütünleşik, dinamik ortamların varlığını güçlendirmektedir. Farklı meslek ve bilimsel uzmanlık alanlarında bir arada çalışabilmek, yeni yaklaşımlar geliştirebilmek, meslek ve bilim insanların değişen koşullara bağlı olarak kendini yenilemesini, geliştirmesini ve disiplinler arası işbirliğinin olabildiğince üst düzeyde sağlanmasını gerekli kılmaktadır.

Bilimde gerçekleşen paradigma değişimleri, hızlı dijital gelişmeler, hayatın bütünü üzerindeki anlayışları da etkilemekte, geleneksel uygulamalar yerini çağdaş uygulamalara bırakmaktadır. Bu bağlamda enerji ve çevresel sorunlara çözüm olarak sürdürülebilir, iklimle uyumlu, enerji ve maliyet etkin çağdaş yöntemler araştırılmaktadır. Temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik teknolojiler geliştirilirken, enerjinin etkin kullanımını sağlayarak, enerji tüketimini azaltacak yaklaşımlar da tartışılmaktadır. Yalıtım enerji etkinliği kavramına bağlı olarak geliştirilen yaklaşımlar ve mevzuatın önemli dayanağı olmaktadır. Bu açıdan yalıtım sektörü, ülkemizde değer taşıyan sektörlerden biridir. Yalıtım sektörü firmaları, paydaşları ile bilimsel çözümler de üretebilen, gelişen bir sektördür.

Bu Bağlamda Yapı Fiziği Derneği tarafından İZODER (Isı, Su, Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği) işbirliği ile düzenlenen 4. Ulusal Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi'nin amacı; kongre konuları kapsamında farkındalık yaratarak araştırma, tasarım, uygulama, üretim gibi farklı alanlarda çalışanları bir araya getirmek ve disiplinler arası çözüm önerilerini tartışmak, genç araştırmacıların çalışmalarının sunulmasını sağlayarak yeni gelişmeleri ortaya koymak, karşılıklı bilgi ve deneyim aktarımını sağlamaktır.

Bilindiği üzere, dünya genelinde nüfus artışı ve yaşam standartlarının yükselmesine dayalı olarak enerji tüketimi ve enerji tüketimine bağlı CO2 salım düzeyinin artması nedeni ile gerek yerel gerekse global ölçekte hızla artan iklim değişikliği, gündemdeki en ciddi sorunlar arasında yer almaktadır. Günümüz ve gelecek nesillerin yaşam kalitesi, yaşanan iklim değişikliğine dayalı olarak önemli bir tehdit altındadır. Diğer taraftan, teknoloji baş döndürücü bir hızla gelişmekte bu durum insanlık için değişimi zorunlu kılmaktadır. Dinamik ortamlarda ve değişen çevre şartlarında toplumların, her geçen gün bir önceki günden daha iyi olmaları, güncel ve teknolojik gelişmelerle barışık bir şekilde sınırlı kaynakları en verimli şekilde kullanabilmeleri için sistematik olarak kendilerini yenilemeleri ve değişim sürecini yönetmeleri kaçınılmaz görünmektedir. Bu açıdan Bu kongrenin ana teması " İklimle Uyumlu, Yaşanabilir Yapma Çevre Tasarımı, Dijitalleşme ve Güncel Yaklaşımlar" olarak belirlenmiştir. Kuşkusuz, konu alanında, gerek bilimsel alandaki gelişmeleri gerekse sektördeki gelişmeleri takip etmek ve geleceğe yönelik stratejiler belirlemek son derece önemlidir. Bu bağlamda, kongrede kapsamındaki bildirilerin ve değerlendirmelerin konu alanında çözümler geliştirmeye önemli katkılar sağlayacağı açıktır.

Kongrenin gerçekleştirilmesinde özveri ile çalışan Kongre Sekreteryası'na, Düzenleme Kurulu Üyeleri'ne, bildirileri ile bilimsel katkı yapan katılımcılara, Oturum Başkanları'na, Bilim Kurulu Üyeleri'ne, kongreyi birlikte düzenlediğimiz İZODER (Isı, Su, Ses ve Yangın Yalıtımcıları) Derneği'ne, kongrenin gerçekleştirilebilmesi için desteklerini esirgemeyen; sponsorlarımız BETEK Boya Kimya Sanayi A.Ş., Kilsan A.Ş., Mega Yalıtım Çözümleri A.Ş.'ne Yapı Fiziği Derneği adına çok teşekkür eder, sevgi ve saygılarımı sunarım.

Prof. Dr. Gül Koçlar Oral  
Kongre Başkanı ve Yapı Fiziği Derneği Başkanı

# **KARADENİZ BÖLGESİNDE ESKİ VE YENİ DOKUNUN İKLİMLENDİRME ENERJİ TÜKETİMLERİNİN ADA BAZINDA KIYASLANMASI**

Hazal Mert<sup>1</sup>  
Betül Türkmen<sup>2</sup>  
İTÜ Mimarlık Fakültesi  
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

## **ÖZET**

*Dünya genelinde hızla artan nüfus, refah seviyesi ve paralelindeki sanayileşme süreci, yapı ve yapı malzemelerinin sebep olduğu enerji tüketimini artırmaktadır. İnşaat sektörü, fosil bazlı kaynaklara yoğun olarak başvurarak bu enerji talebini karşılamakta, ancak bu kaynaklar sınırlı rezervlere sahip olmaları ve çevresel kirliliğe neden olmaları sebebiyle çevresel sürdürülebilirlik açısından endişe kaynağı olmaktadır. Bu bağlamda, özellikle yapı sektöründe enerji verimliliğini artırma ve sürdürülebilir enerji arayışları öne çıkmaktadır. Çalışma, Türkiye’de güneş enerjisinin yapı ve yerleşim ölçeklerinde nasıl etkili bir şekilde kullanılabileceğini, özellikle pasif iklimlendirme sistemleri bağlamında detaylı bir şekilde ele almaktadır. Temel amaç, Trabzon ilindeki eski ve yeni yapıların farklı izolasyon sistemleri, saydamlık oranı, yönelim ve bina aralıklarında ısıtma kaynaklı enerji tüketim giderlerini ve CO2 salınımını kapsamlı bir şekilde karşılaştırmaktır. Elde edilen sonuçlar, eski dokunun ısıtma giderlerinin, pasif güneş enerjisi sistemleri ve modern yalıtım malzemeleri ve sistemleri kullanılan yeni dokuya kıyasla belirgin bir şekilde yüksek olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, güneş enerjisinin yapı tasarımında etkili bir biçimde kullanılmasının, enerji tüketimi açısından önemli avantajlar sağlayabileceğini vurgulamakta ve sürdürülebilir inşaat uygulamalarının geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır.*

*Anahtar Sözcükler: Yapı Fiziği, Pasif Sistemler, Güneş Enerjisi, Geleneksel Trabzon Evleri, Enerji Etkin Tasarım*

## **ABSTRACT**

*The increasing global population, prosperity, and industrialization have led to significant energy consumption in the construction and the production of construction materials. The construction sector heavily relies on fossil-based resources, raising concerns due to their limited reserves and contribution to environmental pollution. This emphasizes the need to focus on improving energy efficiency and exploring sustainable energy options, particularly in the construction sector. This study examines the effective use of passive solar energy systems in Turkey on both a building and settlement scale. The primary objective of the study of Comparison of Heating Energy Consumptions of Old and New Textures in The Black Sea Region is to compare heating energy consumption costs and CO2 emissions in structures built with traditional and modern approaches in Trabzon province. This comparison is based on varying isolation materials, window-to-wall ratio (WWR), orientation and building spacings. Simulations and scenarios evaluating the performance of different settlement structures and materials reveal significant differences in energy consumption values. These findings highlight the potential advantages of incorporating solar energy into architectural design, contributing to the development of sustainable construction practices.*

*Keywords: Building Physics, Passive Systems, Solar Energy, Trabzon Traditional House, Energy Efficient Design*

<sup>1</sup> e-posta adresi: fidanboy@itu.edu.tr

<sup>2</sup> e-posta adresi: betulturkmen@beykent.edu.tr

## 1.GİRİŞ

Günümüzde enerji tüketimi, ekonomik kalkınma ve nüfus artışı ile birlikte hızla artmaktadır. Bu artışın önemli bir kısmını oluşturan inşaat sektörü, binaların inşası, işletilmesi ve bakımı süreçlerindeki enerji talebi ile öne çıkmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansının (IEA) raporlarına göre, dünya genelinde enerji tüketiminin yaklaşık %36'sı binaların enerji ihtiyaçlarından kaynaklanmaktadır [1]. Bu durum, inşaat sektörünün enerji etkinliği ve sürdürülebilirlik açısından kritik bir odak noktası olduğunu göstermektedir. Sürdürülebilir ve temiz bir enerji kaynağı olarak güneş enerjisi fosil kaynaklara bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Yapılarda ısıtma ve elektrik sistemleri için kullanılacak güneş enerjisi sistemleri aktif ve pasif olmak üzere iki ana başlıkta incelenir. Pasif güneş enerjisi kullanımı olarak binaların tasarımı ve konumlandırılması yoluyla güneş ışığını ve sıcaklığını etkili bir şekilde kullanmayı amaçlar. Bu, geniş cam yüzeyleri, güneş enerjisini absorbe eden malzemeleri ve termal kütleleri içerir. Yapılar, güneşin hareketine göre optimal konumlandırılır ve geniş cam alanları, doğal ısı ve ışık alımını artırır. Ayrıca, termal kütleler, güneş enerjisini emer ve bu enerjiyi bina içinde depolar, böylece ısıtma ve soğutma ihtiyacını azaltır. Bu çalışmada pasif güneş enerjisi sistemleri araştırılarak bunların kullanımının yapı enerji tüketimi ve karbondioksit salınımı kapsamında etkisi ele alınmıştır. Türkiye ölçeğinde bakıldığında yapılarda tüketilen enerjinin %80'i ısıtma amacıyla kullanıldığı görülmekte olup bu durum tasarım aşamasında uygulanacak olan pasif enerji sistemlerini ve enerji etkin bina tasarımının global anlamda enerji tüketimini azaltmada önemli bir yeri olduğunu göstermektedir [2]. Türkiye, konumu itibariyle güneşli gün sayısı açısından dünyada önde gelen ülkelerdendir [3]. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat) olduğu tespit edilmiştir [4]. Bu çalışmanın amacı, ilk aşamada Karadeniz Bölgesi'nde eski ve yeni dokuların enerji tüketimlerinin ve CO2 salınımlarının enerji verimliliğini simülasyon yazılımı Design Builder kullanılarak, eski ve yeni dokunun mevcut durumlarının kendi aralarında değerlendirilmesidir. İkinci aşama olarak ise dört farklı senaryo ile seçilen geleneksel yapılarda yalıtımın iyileştirilmesi, saydam yüzeylerin geliştirilmesi, yeni dokuya sahip yapılarda ise optimum yönlenme ve binalar arası optimum mesafe uygulamasının ısıtma kaynaklı enerji tüketim ile CO2 salınımlarına etkileri incelenmiştir. Farklı senaryoların uygulanması ile değişen kabuk malzeme yüzdesinin, farklı mesafelerin ve yönelimlerin bilimsel bir perspektifle çerçevesinde incelenerek, bölgesel enerji tüketim değerlerine etkisi analiz edilmiştir. Çalışmanın sonuçları, inşaat sektöründeki enerji tüketimine yönelik stratejilerin belirlenmesine, pasif güneş enerjisi sistemleri ile enerji verimli tasarım uygulamalarının teşvik edilmesine, yeni ve eski dokuya ait yapılar arasındaki ve bölgeler arasındaki enerji performansının karşılaştırılmasına ışık tutacaktır.

## 2. MODELLERİN VE DEĞİŞKENLERİN TASARLANMASI

Mimari tasarım aşamasında yapının yer seçimi, yapının diğer yapılara göre konumu, yön, yapı biçimi, yapı kabuğunun ısı performansını, güneş alma süresi ve miktarı, yapı iç hacmi ve fiziksel özellikleri, yapı saydamlık oranı, güneş kontrol ve havalandırma sistemi, aydınlatma sistemi enerji verimliliğini etkileyen parametrelerdir. Yapının güneş alma süresi ısıtma yüklerini etkilemektedir dolayısıyla enerji verimli bir yapı için tasarım aşamasında güneşten azami miktarda faydalanılmalıdır. Yapının diğer yapılara ve araziye göre konumu, iklim ve hâkim rüzgâr yönüne göre doğru konumlandırılması doğal havalandırma maliyetini düşürerek, enerji korunumuna yardımcı olacaktır. Yapı kabuğunu oluşturan elemanların malzeme seçimleri, ısı iletkenlik

değerleri ve performansı yine enerji verimliliğini etkileyen faktörlerden biridir. Tüm cepheler için ortak olarak ısı iletkenlik değerleri, pencerelerin konumlandırılması, saydam yüzeylerde cam özellikleri, sızdırmazlık enerji denetimi için dikkatli seçilmesi gereken etmenlerdir [5].

## 2.1. Karadeniz Bölgesindeki İklim Koşulları

Eski ve yeni doku incelemesi için seçilen yapıların bulunduğu Karadeniz bölgesinde kıyılarda geniş yapraklı nemli, iç kesimlerde ise soğuk ve nemli ortamlarda yetişen iğne yapraklı ormanlardan oluşmaktadır [6]. Türkiye genel olarak güneşli gün sayısı açısından avantajlı bir konumda olsa dahi, Karadeniz bölgesinde bu durum farklılık göstermektedir [7]. Karadeniz bölgesi güneşli saat süresine bakıldığında Haziran ayında 273, Aralık ayında ise 82 saat ile diğer bölgeler ile kıyaslandığında en düşük değerleri göstermektedir. Trabzon'da ortalama sıcaklığın en yüksek olduğu aylar Temmuz ve Ağustos, en düşük olduğu aylar ise Ocak ve Şubat aylarıdır. Yıl içinde ölçülen ortalama sıcaklık 14.6 C°, en yüksek sıcaklık 38.2 C°, en düşük sıcaklık ise- 7.4 C° dir. Hakim rüzgar yönü güneydir fakat aylara göre farklılık göstermektedir. Trabzon'da en fazla yağış Ekim ayında düşmektedir [8]. Köy yerleşim alanlarında bulunan yapılarda ortak tipolojilerdeki yerel teknik ve malzemeler hala görülürken; yeni yerleşim bölgelerinde bu durum etkisini kaybetmiş durumdadır.

## 2.2 Malzeme İlgili Değişkenler

Trabzon'daki geleneksel konutlar, iklim koşulları dikkate alınarak, bina konumu, formu, yönelimi, iç mekan düzeni, cephe düzenlemeleri ve malzeme seçimi gibi faktörlere karar verilir. Ahşap, Trabzon evlerinde sıkça tercih edilen bölge iklimine dayanıklı ve yerel bir malzemedir. Ahşap dışında, bölgede sıkça kullanılan bir diğer malzeme de taştır. Dolayısıyla binalar genellikle taş veya ahşap karkas üzerinde inşa edilir. Kapı ve pencere elemanları için malzeme tercihi yine en çok bulunan malzeme ahşaptan yapılır. Çatılar genellikle yağmur ve kar sularını uzaklaştırmak için beşik, kırma veya üç omuz çatı formunda yapılır ve kiremitlerle kaplanır. Yeni yapılarda ise modern tasarım prensiplerine uygun olarak betonarme binalar tercih edilir ve yalıtım için petrol esaslı (XPS, EPS vs.) veya mineral esaslı (taş, cam yünü vs.) gibi piyasada oldukça fazla kullanılan malzemeler tercih edilir.

## 3. METODOLOJİ

Bu çalışmada, Trabzon'un Karadeniz iklimine sahip olması nedeniyle, geleneksel Trabzon evleri ile modern konutlar arasındaki enerji performansı ve çevresel etkiler karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu bağlamda, Araklı ilçesinde geleneksel yöntemlerle inşa edilen eski yapılar ile daha yeni yapılan toplu konut yapıları karşılaştırılmıştır. Geleneksel yapılar için Araklı bölgesinde üç örnek seçilmiştir, modern yapılar için ise 2011 yılında tamamlanan bir konut sitesi ele alınmıştır. Projelerin ve ideal senaryoların simülasyonları Design Builder yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir [9]. Her daire için dört kullanıcı ve kullanıcı başına ortalama 110 W'luk bir aktivite seviyesi belirlenmiştir. Simülasyonlar sırasında mutfak gereçleri, ocak, aydınlatma gibi gereçlerden kaynaklanan ısı kazançları hesaba katılmamıştır. Ancak, sadece ahır bulunan geleneksel yapıların ısıtma amacıyla canlıların verdiği ısı kazancı dahil edilmiştir. Tüm mekanlarda iç hava sıcaklığının eşit olduğu ve seçilen alanların tek zonlu olduğu varsayılarak hesaplamalar yapılmıştır. Modelleme süreci, 1 Ocak ile 31 Aralık arasındaki dönemi kapsamaktadır.

Bu çalışmadaki simülasyon süreci dört ana aşamada gerçekleştirilmiştir:

- 1. Güncel Yapıların Simülasyonu ve Değerlendirilmesi:** Trabzon'daki mevcut yapıların Design Builder simülasyon programı aracılığıyla modellenmesi ve enerji performanslarının Karadeniz iklimi ve kabuk elemanlarının TS 825'e göre değerlendirilmesi.
- 2. Geleneksel ve Modern Yapıların Karşılaştırılması:** Geleneksel ve modern yapıların enerji tüketim oranlarının karşılaştırılması. Bu karşılaştırma için benzer büyüklükteki konutlar seçilmiştir.
- 3. Geleneksel Yapıların İyileştirilmesi:** Geleneksel yapıların içinde, sadece kabuk sistemlerinin TS 825'e göre iyileştirilmesi (S1) ve sadece saydam yüzeylerin iyileştirilmesi (S2) senaryoları ile yapılan değerlendirme.
- 4. Modern Yapıların İyileştirilmesi:** Modern yapıların içinde, yönelim (S3) ve binalar arası mesafelerin (S4) optimum şekilde revize edilmesiyle yapılan değerlendirme.

### 3.1 Mevcut Durumun Kıyaslanması

Geleneksel dokuda inşa edilmiş üç adet konut yapısı seçilmiştir. Seçilen yapılar iç kesimlerde bulunmakta ve komşu yapılar ile arasındaki en yakın mesafe yaklaşık 60 metredir. Ön cephe bahçeye hakim olarak şekilde yönlendirilmiştir. Seçilen yapılar farklı malzemeleri kıyaslamak adına ahşap karkas arasına muska dolma gözlü duvar sistemli, temelde ise ahır katı olan ve taş yığma sistem ile inşa edilen bir yapıdır. Ahır katının ısıtmaya ve enerji tüketimine etkisinin kıyaslaması yapılacaktır. Bu yapı geleneksel dokulardan bir numaralı yapıdır ve buradan sonra GD1 olarak bahsedilecektir. Geleneksel dokuda inşa edilmiş ikinci yapı 50 cm taş yığma sistemli, daha sonradan iç ve dış cepheden sıva yapılarak müdahale edilmiş duvar sistemli, temelde ise ahır katı olmayan ve zemine oturan taş temelli bir yapıdır. Buradan sonra GD2 olarak bahsedilecektir. Geleneksel dokuda inşa edilmiş üçüncü yapı ise ahşap karkas arasına muska dolma gözlü duvar sistemli bir yapıdır. Temelde ise ahır katı olmayan ve zemine oturan taş temelli bir yapıdır. Buradan sonra GD3 olarak bahsedilecektir.

Mevcut durumda GD1-2-3 numaralı yapıların özellikleri, simülasyon parametreleri, yapı elemanlarının malzeme bilgileri ve kabuk elemanlarının İZODER programı ile hesaplanan U değerleri **Çizelge 1**'de verilmiştir.

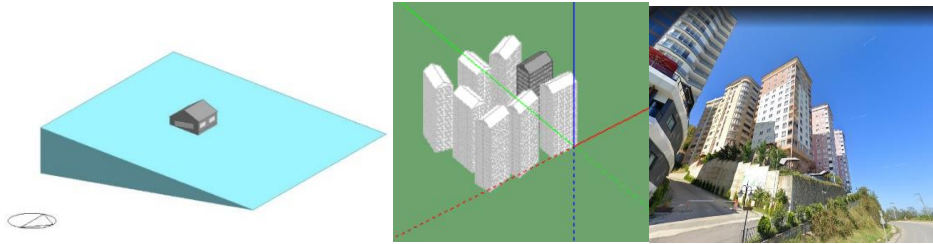
**Çizelge 1:** Geleneksel Dokuda Mevcut Projelere Ait Opak Bileşenlerin Toplam Isı Geçirme Katsayısı Değerleri, Katmanlaşma Detayları ve Müdahaleler.

Yapı No	Yapı Parametreleri	Yapı Elemanı	Malzeme	Mevcut U değeri (W/m <sup>2</sup> K)	Müdahale	Yeni U değeri	TS 825'de U değeri (W/m <sup>2</sup> K)
GD1	Doğu-Batı Yönelim 126 m <sup>2</sup>	Tavan	Ahşap kiriş	3,08	3 cm kalınlığında taş yünü ve 5 cm havalandırma boşluğu	0,4	0,4
			Ahşap kaplama				
			Trapez Saç				
	Odun Sobası	Zemin	Ahşap kiriş	0,54	N/A	0,54	0,6
			Ahşap kaplama				
			Yün Halı kaplama				
LED Armatür	Duvar	Muska dolma göz	0,73	3 cm kalınlığında taş yünü eklenmiştir.	0,47	0,6	
		Keçe Yün					
		Ahşap kaplama					
30%	Pencere	PVC doğrama	3,4	Low-E (6 -13-6)	2,3	2,4	

**Çizelge 2 (devamı):** Geleneksel Dokuda Mevcut Projelere Ait Opak Bileşenlerin Toplam Isı Geçirime Katsayısı Değerleri, Katmanlaşma Detayları ve Müdahaleler.

Yapı No	Yapı Parametreleri	Yapı Elemanı	Malzeme	Mevcut U değeri (W/m <sup>2</sup> K)	Müdahale	Yeni U değeri	TS 825'de U değeri (W/m <sup>2</sup> K)
GD2	Doğu-Batı Yönelim	Tavan	Ahşap kiriş	5,88	6 cm kalınlığında taş yünü eklenmiştir.	0,4	0,4
			Trapez Saç				
	120 m <sup>2</sup>	Zemin	Mıcır	0,6	N/A	0,6	0,6
			Taş Temel				
			Toprak				
	Odun Sobası	Zemin	Beton şap	0,6	3 cm kalınlığında taş yünü eklenmiştir.	0,6	0,6
Kireç Sıva							
LED Armatür	Duvar	Taş Duvar	1,18	3 cm kalınlığında taş yünü eklenmiştir.	0,6	0,6	
		Kireç Sıva					
		Kireç Sıva					
1%	Pencere	PVC doğrama	3,4	Low-E (6 -13-6)	2,3	2,4	
GD3	Doğu-Batı Yönelim	Tavan	Ahşap kiriş	3,7	8 cm kalınlığında taş yünü eklenmiştir.	0,39	0,4
			Ahşap Kaplama				
			Kiremit				
	125 m <sup>2</sup>	Zemin	Mıcır	0,47	N/A	0,47	0,6
			Taş Temel				
			Beton Şap				
	Odun Sobası	Zemin	Ahşap Kaplama	0,47	3 cm kalınlığında taş yünü eklenmiştir.	0,53	0,6
			Muska dolma göz				
	LED Armatür	Duvar	Keçe Yün	0,73	3 cm kalınlığında taş yünü eklenmiştir.	0,53	0,6
			Ahşap Kaplama				
Ahşap Kaplama							
30%	Pencere	Ahşap doğrama	3,1	Low-E (6 -13-6)	2,2	2,4	

Ele alınan 2011 yılında inşası tamamlanmış yeni toplu konut projesi Karadeniz sahil yolu üzerinde eğimli bir arazide bulunmakta, 8,187.31 m<sup>2</sup> alan üzerine kurulu, 8 bloktan oluşmaktadır (**Şekil 1**). 8 blok içerisinde koyu renk ile işaretli blok çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Her blok 15 kata sahip olup, bloklar arası mesafe ise 6-15 metre arasında değişmektedir. Yapıların ön cepheleri manzaradan dolayı hâkim rüzgâr yönü olan kuzeye yönlendirilmiştir.



**Şekil 1:** Eski Doku (solda) ve Yeni Doku (sağda) için Design Builder mevcut durum modelleri.

Yeni doku kapsamında incelenmek üzere bölgede yer alan toplu konut sitesinden seçilen blokta farklı konumlarda bulunan dairelerde kullanılan malzeme özellikleri ve U değerleri **Çizelge 2'**de verilmiştir. Yeni Doku kapsamında incelenen toplu konut sitesinin Design Builder programında modellenmesi için birtakım kabuller yapılmıştır. Aynı toplu konut sitesinde bulunan bloklar için ortalama bir değer alınmış ve blokların tümü programda 25m genişlik ve 15m uzunluk kabulü yapılarak modellenmiştir, ASHRAE iklim sınıfı olarak 3A seçilmiştir [10].

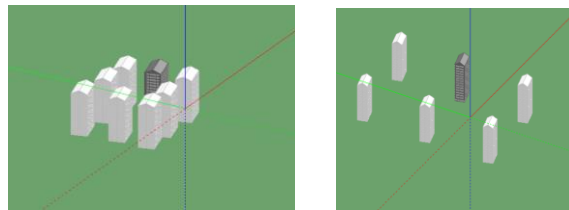
**Çizelge 3:** Yeni Dokuda Mevcut Projelere Ait Opak Bileşenlerin Toplam Isı Geçirime Katsayısı Değerleri ve Katmanlaşma Detayları.

Yapı Özellikleri	Yapı Elemanı	Malzeme	Mevcut Proje U değeri (W/m <sup>2</sup> K)	TS 825ê göre U değeri (W/m <sup>2</sup> K)
Betonarme Ev: Zemin Kat	Tavan	Parke, Keçe, Şap, Betonarme, Alçı Sıva, Astar+Boya	1,86	0,4
	Zemin	Blokaj, Grobeton, Bitüm Su Yalıtımı, Radye Temel, Tesviye Şapı, Bitüm Su Yalıtımı, Bitüm Su Yalıtımı, EPS, Buhar Kesici Keçe, Koruma Betonu, Parke	0,41	0,6
	Duvar	Dış Cephe Sıvası, EPS, Çimento harcı, Tuğla, Alçı Sıva, Astar+Boya	0,4	0,6
	Pencere	PLASTİK DOĞRAMA (3 odacıklı) (LOW-E)	2,1	2,4
Betonarme Ev: 15. Kat	Tavan	Kiremit, Kaplama Tahtası, Bitüm Örtü, Havalandırma Boşluğu, Taş yünü, Kaplama Tahtası, Lambri	0,31	0,4
	Zemin	Parke, Keçe, Şap, Betonarme, Alçı Sıva, Astar+Boya	1,5	0,6
	Duvar	Dış Cephe Sıvası, EPS, Çimento harcı, Tuğla, Alçı Sıva, Astar+Boya	0,4	0,6
	Pencere	PLASTİK DOĞRAMA (3 odacıklı) (LOW-E)	2,1	2,4
Betonarme Ev: 8. Kat	Zemin	Parke, Keçe, Şap, Betonarme, Alçı Sıva, Astar+Boya	1,5	0,6
	Zemin	Parke, Keçe, Şap, Betonarme, Alçı Sıva, Astar+Boya	1,5	0,6
	Duvar	Dış Cephe Sıvası, EPS, Çimento harcı, Tuğla, Alçı Sıva, Astar+Boya	0,4	0,6
	Pencere	PLASTİK DOĞRAMA (3 odacıklı) (LOW-E)	2,1	2,4

Mevcut durumda eski ve yeni doku adına seçilen yapı ve bölümlerin enerji tüketimi ve CO<sub>2</sub> salımları incelenmiştir. TÜİK e göre 4 kişilik bir ailenin aylık elektrik tüketimi yıllık 5000 kWh olarak verilmiştir [11]. Eurostat tarafından sunulan verilere göre Türkiye’deki ailelerin yüzde 32’si aylık 208 ile 416 KW/saat arası, yüzde 9,7’si 417 ile 1250 KW/saat arası, yüzde 3,9’u ise 1250 KW/saat ve üzeri ortalama aylık elektrik tüketiyor [12].

### 3.2 Mevcut durumun iyileştirilmesi için geliştirilen senaryolar

Çalışma kapsamında farklı parametrelerin etkilerini incelemek amacıyla dört farklı senaryo geliştirilmiştir. S1, S2, S3 ve S4 olarak isimlendirilen senaryolarda sırasıyla, günümüzde yaygın olarak kullanılan yüksek performanslı yalıtım malzemelerinin eklenmesi (eski doku), saydam alanların daha teknolojik olacak şekilde yenilenmesi (eski doku), binaların yönelimlerinin (yeni doku) ve aralarındaki mesafelerin (yeni doku) güneşten aktif bir şekilde yararlanmak için tekrar düzenlenmesi olarak belirlenmiştir. Bu hesaplamalar yapılırken pratikte sıklıkla kullanılan Köppen’in iklim sınıflandırması kullanılmıştır. Köppen’in iklim sınıflandırmasına göre Türkiye, ılıman iklim kuşağında bulunmaktadır [13].



**Şekil 2:** Yeni doku için S3(solda) ve S4(sağda) yerleşimleri.

S3 senaryosu için Türkiye ölçeğinde bakıldığında literatürde optimum güneş yönlenmesi, güneyden 10° güneydoğuya bakan konumlar olarak ifade edilmektedir. İyi yönlenme 13° güneybatı – 35° güneydoğu, geçerli yönlenmeler 23° güneybatı- 49° güneydoğu arasındadır. Güneş ışınımından optimum yararlanmak için bina, güneyden doğuya maksimum 10°'lik bir açı oluşturacak şekilde yerleştirilmelidir [14]. Buna göre B2 ve B3 bloklarının optimum yönelim sınırları içinde kaldığı, B1, B4, B5, B6, B7 ve B8 bloklarının ise optimum yönelim alanı dışında kaldığı görülmüştür. Sitenin genel durumuna bakıldığında sitede yer alan 8 bloktan 2 tanesinin optimum yönelim sınırları içinde kaldığı, yapıların %25'inin uygun yönlenme durumunda olduğu gözlemlenmiştir. S4 senaryosu için yapıların birbirlerine göre konumları gün ışığından faydalanmasını sağlayacak şekilde planlanmalıdır. Rutubete sebep olan gölge alanını engellemek ve gün ışığından maksimum yararlanmak için, konutlar birbirini gölgelemeyecek şekilde konumlandırılmalıdır. Binalar arasındaki mesafe binaların verdiği en uzun gölgeli alan derinliğine eşit ya da bu gölge derinliğinden daha fazla olmalıdır, ılıman nemli iklimde yapılar arasındaki mesafe 2H – 3H olarak önerilmektedir [14]. Trabzon ili Araklı bölgesinde yer alan çalışma alanı 40,5653 enlem ve 40,0259 boylamlarında konumlanmış olup rakımı 62 m'dir. Araklı'daki toplu konut sitesindeki yapıların kendi içinde birbirleri ile olan mesafelerine bakıldığında B1 ve B2, B2 ve B3, B3 ve B4, B4 ve B5, B6 ve B7, B7 ve B8, B8 ve B1 blokları arasındaki mesafeler sırasıyla, 10m, 7m, 10m, 15m, 20m, 7m, 17m ve 17m olarak ölçülmüştür. Yapıların birbirlerine göre konumlarının güneş ışığından faydalanmaya izin vermesi için ılıman bölgelerde önerilen 2H-3H kuralının, her bloğun yaklaşık 45m yüksekliğe sahip olduğu Araklı toplu konut sitesinde 90m ve 135m olarak hesaplanmasından dolayı mevcutta bulunan yapılar arasında bu durumun sağlanmadığı görülmektedir.

#### 4. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada iklim koşullarındaki değişiklikleri dikkate alarak, farklı yerleşim dokuları ve farklı malzemelerin performansını değerlendirmek için gerçekleştirilen simülasyonlar; enerji tüketim değerlerinin ayrıntılı bir analizini sunarak iki ayrı dokunun performansındaki farkları ortaya koymaktadır. Bu bulgular, güneş enerjisinin yapı tasarımında etkili bir biçimde kullanılmasının, enerji tüketimi açısından önemli avantajlar sağlayabileceğini vurgulamakta ve sürdürülebilir inşaat uygulamalarının geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır.

S1, S2, S3 ve S4 senaryolarında yapılan değişiklikler sonucunda değişen enerji tüketimleri ve CO2 salınım değerleri eski ve yeni doku olarak ayrı ayrı incelenip Çizelge 3 ve 4'te verilmiştir.

Çizelge 4: Geleneksel Dokuda Mevcut Projelere Ait Simülasyon Sonuçları.

DETAYLAR	GD1	GD1-S1	GD1-S2	GD2	GD2-S1	GD2-S2	GD3	GD3-S1	GD3-S2
Yıllık Toplam Enerji Tüketimi	11.429	10.009	11.094	8.512	6.355	8.285	8.963	8.241	8.574
Alan Başına Enerji Talebi	96,32	84,85	93,5	131,15	99,42	127,67	74,29	68,8	71,06
Yıllık Toplam Isıtma (kWh)	10.346	8.932	10.012	7.919	5.772	7.693	7.862	7.148	7.473
Aylık En Yüksek Isıtma (kWh)	110,5 (Ocak)	96,15 (Ocak)	89,05 (Ocak)	71,44 (Ocak)	50,69 (Ocak)	68,14 (Ocak)	84,14 (Ocak)	74,90 (Ocak)	83,02 (Ocak)



**Çizelge 5 (devamı):** Geleneksel Dokuda Mevcut Projelere Ait Simülasyon Sonuçları.

DETAYLAR	GD1	GD1-S1	GD1-S2	GD2	GD2-S1	GD2-S2	GD3	GD3-S1	GD3-S2
Isıtma /Toplam Tük. En.	91%	89%	90%	93%	91%	93%	88%	87%	87%
Yıllık Toplam Elektrik Yüğü	1.082	1.076	1.082	592	583	592	1.101	1.093	1.101
Elektrik Yüğü/ Toplan Tük. En.	9%	11%	10%	7%	9%	7%	12%	13%	13%
Camdan Isı Kazancı (21Haz.)	4,23	4,23	4,23	0,13	0,13	0,13	4,47	4,47	4,47
Gömülü Karbon (kgCO2)	77.634	77.462	77.462	121.911	123.578	123.044	15.894	17.517	15.885
Karbon Ayak İzi (kgCO2)	83.037	84.100	82.865	130.779	132.558	131.988	16.134	17.887	16.125
<b>Toplam Enerji Kazanç Oranı</b>		<b>12,42%</b>	<b>2,90%</b>		<b>25%</b>	<b>2,67%</b>		<b>8%</b>	<b>4,30%</b>

**Çizelge 3'**te verilen simülasyon sonuçlarına göre mevcut geleneksel yapılarda;

- Isıtma Yüğüünün Toplam Enerji Tüketimine oranı % 88 ile en iyi performans gösteren yapı GD3 yapısıdır. En kötü performans ise % 93 ile GD2 yapısıdır.
- Yıllık toplam alan başına tüketilen enerji miktarı en yüksekten düşüğe doğru sırasıyla GD2 (131,15 kWh/m<sup>2</sup>), GD1 (96,32 kWh/m<sup>2</sup>) ve GD3 (74,29 kWh/m<sup>2</sup>) şeklindedir. Dolayısıyla aralarında enerji tüketimi kapsamında en tercih edilebilir seçenek GD3 yapısıdır. GD1 ile GD3 yapılarının saydamlık oranları, ahır katının olması ve yapı alanı konularında eşitlik göstermektedir. Enerji tüketimindeki farklılık yapı kabuğu malzemelerinden kaynaklıdır.
- Gömülü karbon ve karbon ayak izi kıyaslamasında etkisi en yüksek yapılar sırasıyla GD2, GD1 ve GD3'tür.
- Trabzon ilinde en uzun gündüz olan 21 Haziran gününde çalıştırılan simülasyonun sonucunda, GD3 yapısında pencerelerden güneş kazancının modeldeki en fazla ısı kazancı değeri 4,47 kWh ile 08:00 saatinde en yüksek noktalara çıktığı görülmektedir. Dolayısıyla güneş ısı kazancını arttırmak için doğu cephesi uzunluğu ve saydamlık oranı artırılıp, diğer cepheler minimize edilebilir.
- Tüm senaryo değerlendirmelerinde yıllık toplam enerji tüketimi kapsamında S1 senaryosu yani kabuk elemanlarının TS 825'te verilen değerlere göre geliştirilmesi seçeneği, S2 yani opak yüzeylerin iyileştirilmesinden daha iyi bir sonuç vermiştir. Ancak yıllık toplam enerji tüketiminin azalması için yapılan yalıtım malzemesi katmanının eklenmesi ile gömülü enerji ve karbon ayak izi değerleri yükselmiştir.
- Yıllık toplam enerji tüketiminin azaltılması için S1 senaryosunda % 25 lik iyileştirme ile GD2-S1 yapısında olmuştur. Bu yapı için çatıda 6 cm kalınlığında taş yünü, duvarda ise 3 cm kalınlığında taş yünü ısı yalıtımı kullanılarak kabuk elemanları TS 825'te verilen değerlere getirilmiştir.
- Yıllık toplam enerji tüketiminin azaltılması için S1 senaryosunda % 12,42 lik iyileştirme ile GD1-S1 yapısında olmuştur. Bu yapı için çatıda 3 cm kalınlığında taş yünü, duvarda ise 3 cm kalınlığında taş yünü ısı yalıtımı kullanılarak kabuk elemanları TS 825'te verilen değerlere getirilmiştir.

- Yıllık toplam enerji tüketiminin azaltılması için S1 senaryosunda % 8 lik bir iyileştirme ile en son sırada GD3-S1 yapısı bulunmaktadır.
- Saydam yüzeylerin etkisini kıyaslamak adına yapılan S2 senaryosunda, kabuk elemanlarında katmanlaşmalar, saydamlık oranı ve doğrama cinsi aynı tutularak, mevcut camların 6mm+13mm hava+6mm low-e çift cam tercih edilmiştir. Bu etki ile birlikte yıllık enerji tüketiminde saydam yüzeylerin az olması sebebiyle büyük miktarlarda iyileştirmeler bulunmamaktadır. En iyi sonuç %4,3 oranında tüketilen enerji miktarının azaltılması ile GD3-S2 yapısı olmuştur.

**Çizelge 6:** Yeni Doku yapısı için mevcut durum ve simülasyon sonuçları.

DETAYLAR	YD (Blok/Hane)		YD-S3 (Blok/Hane)		YD-S4 (Blok/Hane)	
Yıllık Toplam Enerji Tüketimi (kWh)	419,686	13,990	417,481	13,916	421,660	14,055
Enerji Talebi (kWh/m <sup>2</sup> /yıl)	80.39	80.39	79.54	79.54	80.34	80.34
Yıllık Toplam Isıtma Yüğü (kWh)	372,048	12,402	369,587	12,320	373,766	12,459
Aylık En Yüksek Isıtma Yüğü (kWh)	3,453	115	3,282	109	3,482	116
Isıtma Yüğü/ Toplam Enerji	88.65%	88.65%	88.53%	88.53%	88.64%	88.64%
Yıllık Toplam Soğutma Yüğü	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Soğutma Yüğü/ Toplam Enerji	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Yıllık Toplam Elektrik Yüğü (kWh)	47,638	1,588	47,894	1,596	47,894	1,596
Elektrik Yüğü /Toplam Enerji	11.35%	11.35%	11.47%	11.47%	11.36%	11.36%
Maks.Pencerelerden Isı Kazancı (Temmuz)	665.58	1.48	665.58	1.48	665.58	1.48
Gömülü Karbon (kgCO <sub>2</sub> )	651,659	21,722	651,659	21,722	651,659	21,722
Karbon Ayak İzi (kgCO <sub>2</sub> )	670,147	22,338	670,147	22,338	670,147	22,338
<b>Toplam Enerji Kazanç Oranı</b>			<b>0.53%</b>	<b>1.06%</b>	<b>-0.47%</b>	<b>0.06%</b>

Yeni doku incelemesi için seçilen toplu konut yapısında mevcut ve senaryolara göre değişen değerler **Çizelge 4**'te verilmiştir. Buna göre;

- S3 (yönelim) ve S4 (mesafe) yapılan değişikliklere göre toplu konut sitesinde seçilen blokta ısıtma yüğü ve elektrik tüketimindeki değişiklikler %1 ve altında kalmıştır.
- Toplam enerji tüketiminde tüm blok ve daire başı incelemeler yapıldığında optimum durumun S3 ile sağlandığı belirlenmiştir. S3 senaryosunda toplam enerji tüketiminin mevcut duruma göre oranı %0.5 iyileşme olarak kaydedilmiştir. Bu durum düzenlenmiş yönelim ile güneşlenme süresinin artışının toplam ısıtma yükünü arttırması olarak açıklanabilir.
- Isıtma Yüğünün Toplam Enerji Tüketimine oranı tüm senaryolarda benzer sonuçlar vermiş olup en düşük sonuç %88,53 ile S3 senaryosunda görülmüştür.
- Gömülü karbon ve karbon ayak izi yapılarında malzeme bazında değişiklik yapılmadığı için mevcut durum ve senaryolar için aynı kalmıştır.
- S4 senaryosunda binalar arasındaki mesafenin açılmasıyla birlikte bloğun güneşlenme süresi artmış ancak yapı yüksekliği ve denize yakın konumunun oluşturduğu rüzgar etkilerinden dolayı güneşlenme süresinin artmasıyla birlikte [12]. Toplanan ısı miktarı rüzgar yükünün artan etkisine göre düşük kalmış ve toplam enerji tüketiminde artışa sebep olmuştur.

## KAYNAKLAR

1. IEA, «Buildings,» IEA, 2022. [Çevrimiçi]. Available: (<https://www.iea.org/energy-system/buildings>) . [Erişildi: 14 03 2024].
2. B. Bektaş, *Isıtma Açısından Dış Duvarlarda Saydam Yüzey Kullanımının Araştırılması*, Elazığ: Yüksek Öğretim Kurumu, 2006.
3. Kamil B. Varınca, M. Talha Gönüllü , «Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma,» %1 içinde *1. ULUSAL GÜNEŞ VE HİDROJEN ENERJİSİ KONGRESİ* , Eskişehir, 2006.
4. Ç. B. DİKMEN, «Enerji Etkin Yapı Tasarım Ölçütlerinin Örneklenmesi,» *Journal of Polytechnic*, cilt 14, no. 2, pp. 121-134, 2011.
5. Ayça GAZİOĞLU, Şule Filiz AKŞİT, Gülten MANİOĞLU, «Enerji Etkin Bina Tasarımında Isıtma Enerjisi Tüketimini Azaltmaya Yönelik Bir İyileştirme Çalışması,» *Tesisat Mühendisliği*, cilt 136, pp. 41-52, 2013.
6. Serhat Şensoy, Mesut Demircan, Yusuf Ulupınar, İzzet Balta, «Türkiye İklimi,» Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 2008.
7. M. Taşova, «Türkiye' nin Güneş Enerjisi Parametre Değerleri Ve Güneş enerjisinden Faydalanma Olanakları,» *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, cilt 7, no. 3, pp. 10-17, 2018.
8. «Trabzon İl Raporu,» T.C. KALKINMA BAKANLIĞI DOĞU KARADENİZ PROJESİ BÖLGE KALKINMA İDARESİ BAŞKANLIĞI , Giresun, 2013.
9. D. Builder, «Packages for Architects,» Design Builder, 2024. [Çevrimiçi]. Available: <https://designbuilder.co.uk/software/for-architects>. [Erişildi: 10 03 2024].
10. R. a. A.-C. E. (. American Society of Heating, *Climatic Data for Building Design Standards*, Georgia: American National Standards Institute , 2021.
11. Y. Doğan, «Türkiye'de ortalama bir evin aylık ve yıllık elektrik ihtiyacı ne kadardır?,» 10 03 2023. [Çevrimiçi]. Available: <https://sbsolar.com.tr/turkiyede-ortalama-bir-evin-aylik-yillik-elektrik-ihtiyaci-ne-kadardir>. [Erişildi: 03 03 2024].
12. «Türkiye'de Hanehalkı Ayda Ne Kadar Elektrik Tüketiyor?,» 10 02 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.dogrulukpayi.com/bulten/turkiye-de-hanehalki-ayda-ne-kadar-elektrik-tuketiyor>. [Erişildi: 01 04 2024].
13. E. Yılmaz, «Türkiye’de Thornthwaite İklim İndislerindeki Eğilimler,» *Coğrafya Dergisi*, cilt 40, pp. 163-185, 2020.
14. Filiz Umaroğulları, Cenk Cihangir, «Toplu Konutların İklimsel Konfor Tasarım Parametrelerine Göre Değerlendirilmesi: “İlman Nemli İklim Bölgesi: Edirne Binevler (1.Kısım) Konut Yapı Kooperatifi Örneği,» *Mimarlık ve Yaşam Dergisi* , cilt 4, no. 1, pp. 105-122, 2019.

## **OFİS BİNA CEPHE SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI KARBON ANALİZİ**

Elif Tuğba Yalaz

Huriye Önal

Ayşegül Tereci

<sup>1,3</sup> Necmettin Erbakan Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Mimarlık Fakültesi Meram, Konya, 42090

<sup>2</sup> KTO Karatay Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, Karatay, Konya, 42020

### **ÖZET**

*Türkiye 12. Kalkınma planında net sıfır karbon emisyonu hedefine dikkat çekilmiş, gömülü karbon miktarı ve karbon ayak izi azaltılmış inşaat malzeme üretim ve kullanımına ve binalarda uygulanacak tedbirler doğrultusunda karbonsuzlaşmanın kritik öneme sahip olduğu vurgulanmıştır. Ofis Binaları enerji kullanım yoğunluğu açısından yüksek yoğunluklu binalardan kabul edilmektedir ve tasarım aşamasından başlayarak karbon emisyonlarının azaltılması hedeflenmelidir. Ofis binalarında kullanım aşamasında seçilen ekipmanlarda sağlanan enerji etkinlik kadar bina ön tasarım aşamasında bina yapı elemanlarının belirlenmesi de binanın yaşam döngüsü açısından karbon emisyonlarının azaltılmasında belirleyici etmenlerden birisidir. Ofis yapı cephelerinde istenilen opaklık ve saydamlık oranına göre farklı cephe sistemleri ve kaplama malzemeleri uygulanmaktadır. Ayrıca konfor koşullarının oluşturulmasına yardımcı olan güneş kontrol elemanlarıyla cephe tasarımları şekillenmektedir. Bu çalışmada İstanbul için ofis yapısına uygulanan metal ve cam cephe sistemleri ile yatay ve dikey güneş kontrol elemanlarının kombinasyonlarının enerji ve yaşam döngüsü analizi yapılarak karbon açısından karşılaştırılması yapılmıştır. Cephelerde saydamlık oranları %50 ve %100 olarak değiştirilerek ve güneş kontrol elemanlarının farklı açılarla ve malzemelerle varyasyonları denenmiştir. Cam ömrü 30, metal cephe elemanı ömrü 60 ve güneş kontrol elemanları ömrününün 15 sene olarak alınmıştır. Üretim aşamasında yaklaşık %30 oranında karbon emisyonlarında değişim oluşurken, kullanım aşamalarında ise yaklaşık %10'luk değişime neden olduğu tespit edilmiştir. Bu noktada özellikle cam elemanların cephe sistemlerinde kullanım oranının değişiminin kritik etkenlerden biri olduğu tespit edilmiştir.*

*Anahtar sözcükler: Karbon Ayakizi, Ofis Binaları, Cephe Sistemleri*

### **ABSTRACT**

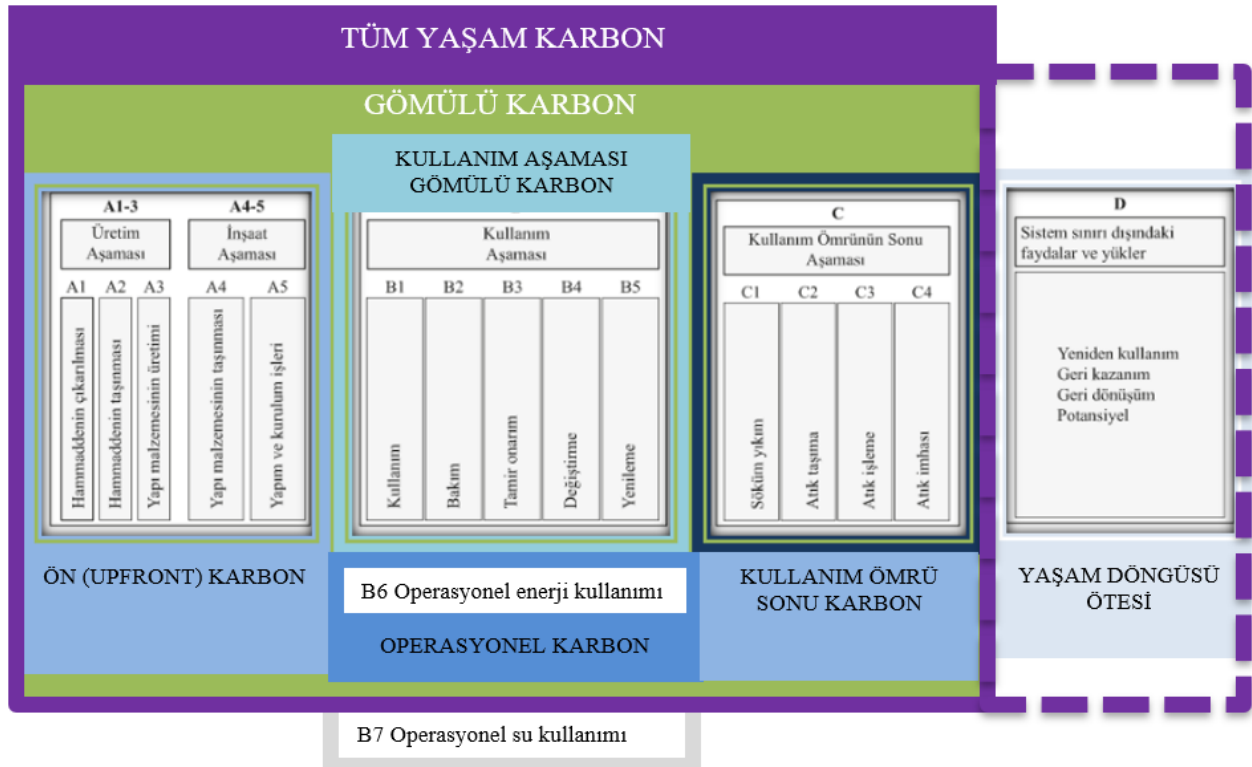
*In Turkey's 12th Development Plan, attention was drawn to the net zero carbon emission target, and it was emphasized that decarbonization is of critical importance in line with the production and use of construction materials with reduced embodied carbon amount and carbon footprint, and the measures to be implemented in buildings. Office Buildings are considered high-density buildings in terms of energy use intensity and reducing carbon emissions should be aimed starting from the design stage. Determining the building structural elements at the preliminary design stage of the building is one of the determining factors in reducing carbon emissions in terms of the life cycle of the building, as well as the energy efficiency provided by the equipment selected during the use phase of office buildings. Different facade systems and coating materials are applied on office building facades depending on the desired opacity and transparency ratio. In addition, facade designs are shaped with solar control elements that help create comfort conditions. In this study, the combinations of metal and glass facade systems and horizontal and vertical solar control elements applied to office buildings in Istanbul were compared in terms of carbon by performing an energy and life cycle analysis. The transparency rates on the facades were changed to 50% and 100%, and variations of the sun control elements were tried with different angles and materials. The life of glass is taken as 30 years, the life of metal facade elements is 60 years, and the life of solar control elements is 15 years. It has been determined that while there is a change in carbon emissions of approximately 30% in the production phase, it causes a change of approximately 10% in the usage stages. At this point, it has been determined that the change in the usage rate of glass elements in facade systems is one of the critical factors.*

*Key words: Carbon Footprint, Office Buildings, Facade Systems*

e-posta adresi: <sup>1</sup>etyalaz@erbakan.edu.tr, <sup>2</sup>huriye.onal@karatay.edu.tr, <sup>3</sup>atereci@erbakan.edu.tr

## 1. GİRİŞ

İnsan faaliyetlerinin neden olduğu sera gazlarının artmasıyla meydana gelen küresel ısınma sorunu pek çok çevre krizinin de ana nedeni olarak görülmektedir. İnşaat sektörü toplam enerji kullanımının üçte birinden fazlasını kullanmaktadır ve enerjiyle ilişkili karbon emisyonunun %21'ini oluşturmaktadır [1]. Bu noktada binalarda sağlanan enerji verimliliği ve karbon emisyonlarının azaltılması politikaları küresel ısınma probleminin önüne geçilmesinde önemli aktörlerden biri haline gelmiştir. Avrupa Birliği, inşaat sektöründe 2050 yılına karbon nötrlüğe ulaşmayı hedeflemektedir [2]. Türkiye’de de enerji tüketiminin yaklaşık %37’sinden ve sera gazlarının %30’undan sorumlu olan bina sektöründe sürdürülebilirlik giderek daha da önem kazanmaktadır. 2023 yılında yayınlanan 2024-2028 yılları için hazırlanan 12. Kalkınma Planında akıllı, sürdürülebilir, iklim dostu, sakin ve dirençli kentler gibi yaklaşımlardan bahsedilerek karbon ayak izinin düşürülmesi hedeflenmiştir [3].



Şekil 1: EN 15978'de tanımlanan terimlere göre karbon analiz aşamaları [4].

Ülkemizde ve dünyada binalarda karbon emisyonlarının azaltılması noktasında, özellikle kullanım aşamasına yönelik yapılan iyileştirmeler, enerji verimliliğinin sağlanması ve de yenilebilir enerjiye geçişle birlikte önemli bir yol alınmıştır. Binaların kullanım aşamalarındaki bu performans artışı da karbon analizinde de operasyonel karbon aşaması kadar gömülü karbon aşamasının değerlendirilmesinin önemini artırmıştır. Gömülü karbon bir binanın veya altyapının tüm yaşam döngüsü boyunca malzeme ve inşaat süreçleriyle ilişkili karbon emisyonlarını kapsamaktadır. Bu nedenle Şekil 1’de görüldüğü üzere gömülü karbon ham madde çıkarma (modül A1), üreticiye ham maddenin taşınması (A2), imalat (A3), sahaya taşıma (A4), inşaat (A5), kullanım aşaması (B1), bakım (B2), onarım (B3), değiştirme (B4), yenileme (B5), operasyonel enerji kullanımı (B6), yıkım (C1), kullanım ömrü sonunda atık tesislerine taşıma

(C2), atık işleme (C3), imha (C4) aşamalarını içerir. Bu sistem doğrultusunda malzeme tercihlerinin ve tasarım aşamasının gömülü karbon emisyonlarının azaltılmasında önemli rol oynadığı görülmektedir. Her ne kadar operasyonel karbonla ilgili iyileştirmeler yapılsa da gömülü karbonla ilgili performansın özellikle bina yapım aşamasından önce dikkatle irdelenmesi ve bu noktada bir bakış açısı kazanılması gerektiği anlaşılmaktadır.

Bina kabuğu yapıyı çevresel etmenlere karşı koruyan, iç ve dış ortam arasında etkileşimi sağlayan çatı, cephe gibi yapı elemanlarından oluşmaktadır [5]. Bina kabuğu genel olarak yapının estetik görünüşü, binanın çevresel koşullara karşı dayanımı ve iç mekân konfor koşullarının oluşturulmasından sorumludur [5,6]. Bina kabuğunun düşey bileşenini oluşturan ve en büyük yüzey alanına sahip olan dış duvar/cephe sistemleri beklenen performansın karşılanmasında önemli bir role sahiptir. Masif duvar tasarımı ile başlayan dış duvar tasarım süreci, duvarda açıklıkların tasarımı ve açıklığın doldurulmasıyla devam etmiştir [7]. İnşaat sektöründe, yapım ve malzemede yaşanan gelişmelerle birlikte hafiflik, çevresel koşullara dayanım, hızlı yapım, farklı formlara izin verme gibi özellikler ön plana çıkmaya başlamıştır [5,8]. Taşıyıcı sistem ve duvarın işlevsel olarak ayrılmasıyla birlikte cephe kavramı üzerine çalışılan önemli bir konu haline gelmiştir [7]. Özellikle Sanayi Devrimiyle birlikte cam ve metal kullanımının artış göstermesi sonucunda büyük ve şeffaf cepheler binalarda yerini almaya başlamıştır. Cam ve metalin cephede kullanımında performans özelliklerinin iyileştirilmesi, estetik ve şeffaflık gibi kavramlarla birlikte giydirme cephe sistemleri ortaya çıkmıştır [9]. Opak ve şeffaf malzeme kullanılarak yapılan giydirme cephe sistemleri yük taşımayan ve bina taşıyıcı sistemine yükünü aktaran cephe sistemleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Estetik ve performans gereksinimlerinin yanı sıra enerji korunumu ve karbon emisyonları bakımından ele alınmalıdır [10]. Metal-cam cephe sistemleri özellikle çok katlı ofis yapılarında sıkça uygulanan cephe sistemlerinden biridir. Ofis binaları insan yoğunluğu ve bina kullanımı açısından en yüksek enerji tüketim seviyelerinden birine sahiptir ve bu nedenle de ofis binalarının sürdürülebilirlik performansının artırılması büyük önem taşımaktadır [11]. Bu binalarda özellikle tasarım aşamasında alınan kararlar hem kullanım aşamasındaki performansı hem de gömülü karbon emisyonunun azaltılması açısından önemlidir. Bu nedenle tasarım aşamasında bina enerji performansını artırıcı kararların alınması yanında, karbon indeksi düşük yerel malzemelerin tercih edilmesi, bunların etkin yapım teknikleri ile kullanılarak yapılması ve hatta dönüşüm planlarının dikkate alınması gerekmektedir. Ayrıca operasyonel karbon binanın kullanım süreci boyunca optimize edilebilirirken gömülü karbon açısından ön tasarım kararlarının değiştirilmedikçe bir değişiklik olmayacağından karbonsuzlaştırma (dekarbonizasyon) sürecinde daha da dikkat edilmesi gereken bir konu haline gelmiştir.

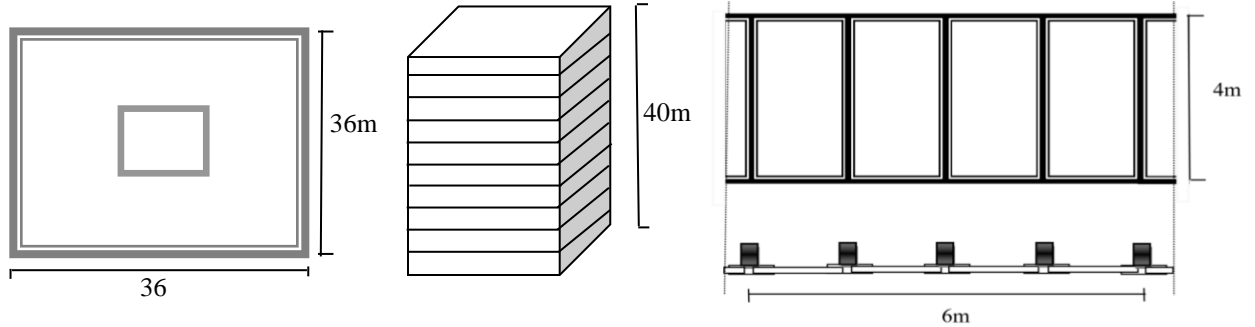
Pomponi vd. [12]'nin yaptığı çalışmada çift kabuk uygulamalarının ofis yenilemeleri açısından karşılaştırılmalı analizi yapılmış ve araştırma sonucunda enerji etkinlik açısından çift kabuk uygulamalarının tek kabuğa göre %98 verimli olduğu ve karbon açısından ise %85 bir verim sağlandığı karşılaştırılmalı analiz yöntemi ile hesaplanmıştır. Hannoudi vd. [13]'nin yaptığı çalışmada ise çok açılı cam cepheler, tek yönlü cam cephelerle enerji ve karbon açısından karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmaya göre çok açılı cephe için binanın ömrü boyunca toplam enerji tüketiminin ve gömülü enerjinin toplamının alan ağırlığının, düz bir cepheyle kıyaslandığında yaklaşık %11 daha verimli olduğu belirtilmiştir. Elektrik enerjisinin CO<sub>2</sub> açısından dinamik ve statik olarak simülasyonu ile ofis cephe stratejilerinin Tokyo açısından değerlendirildiği çalışmada ise PVlerden gün içerisinde alınan verim nedeniyle yaz/kış geç-gündüz elektrik üretiminin etkilenmesiyle birlikte cephe kontrol stratejilerinin bu noktada değerlendirilmesi sonucuna varılmıştır [14]. Ofis giydirme cephelerin 20, 40 ve 100 yıllık cephe

hizmet ömürleri ile depolama, geri dönüşüm ve yeniden kullanımının değerlendirilmesini içeren farklı yaşam döngüsü senaryolarına dayanan toplam 27 senaryo inceleyen çalışmada daha yüksek operasyonel tasarrufa sahip bir cephe seçmenin yaşam döngüsü açısından daha fazla fayda sağladığı tespit edilmiştir. [15]. Avustralya'daki 15 katlı bir ofis binasındaki dört tip cephe cam malzemesinin bina enerji modellemesi, yaşam döngüsü analizi ve yaşam döngüsü maliyetiyle hesaplandığı çalışmada ise Low-e çift cam cephenin (Tip 4), alternatiflerine göre daha yüksek gömülü enerji ve karbona sahip olmasına rağmen enerji etkinlik ve mali açıdan en verimli malzeme olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında sub-tropik iklim için çift camın ise düşük U değeri nedeniyle ısıyı bina içinde hapsedmesi, artan net enerji ve emisyonlar nedeniyle en zayıf genel performansa sahip olduğu gözlemlenmiştir [16]. Bu yapılan çalışmalarda farklı cephe teknoloji ve kontrol stratejilerinin iklimle birlikte gömülü karbon emisyonları açısından etkilerinin ofis yapıları açısından belirlenmesinin yapılan cephe tasarımları açısından dikkate alınması sonucunu ortaya koymaktadır.

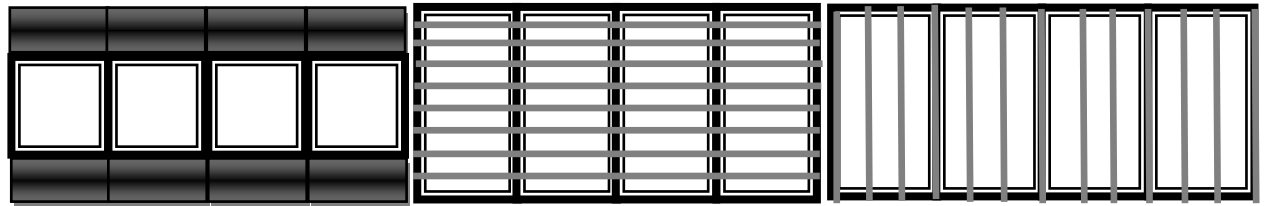
Bu bağlamda çalışma kapsamında İstanbul'da çok katlı ofis binasının cephesine uygulanan %100 ve %50 saydam/opak oranına sahip metal-cam cephe sistemleri ile yatay ve dikey doğrultuda uygulanan güneş kontrol elemanlarının enerji ve yaşam döngüsü analizleri yapılarak karbon açısından karşılaştırılmıştır.

## 2. METODOLOJİ

Çalışmada İstanbul için ana yönlere cepheler dik gelecek şekilde orta çekirdekli açık bir ofis kurgulanmıştır. Yapılan cephe kaplamaları ofisin 4 cephesinde de uygulanmıştır. Ofis cephe sistemlerinin değerlendirilmesinde Şekil 2'de gösterilen 6m cephe genişliği olan ve 4m yüksekliği olan açıklık için 1.5m genişlikli 4 cephe modülü ele alınmıştır. Cephe modülünde 6mm tek cam+12mm hava boşluğu+6mm tek camdan oluşan çift cam kullanılmıştır. Bu cephe kaplaması Senaryo-1 olarak ele alınmıştır.



Şekil 2:a) Basitleştirilmiş bina planı, b) Bina aksonometrik perspektifi, c) Cephe sisteminin plan ve görünüşü



Şekil 3: a) Senaryo2: %50 cam, %50 alüminyum kaplama, b) Senaryo3: Yatay gölgelendirme elemanı, c) Senaryo4: Dikey gölgelendirme elemanı

Bu esas senaryo kaplaması **Şekil 3**'te gösterildiği üzere modüllerde yapılan üç farklı alternatif ile denenmiştir. Senaryo 2'de cam oranı %50'ye düşürülmüş ve cephe modülünün geri kalanı alüminyum olarak yapılandırılmıştır. Bu kaplamanın arkasında 5cm taşıyıcı yalıtım ve 2cm alçıpan levha kullanılmıştır. Senaryo 3'te yatay 25cm'lik alüminyum gölgelendirme elemanları 50cm'lik aralıklarla cam cepheye yerleştirilmiştir. Senaryo 4'te ise aynı gölgelendirme elemanları yine 50cm'lik aralıklarla cam cepheye dikey olarak yerleştirilmiştir. Karşılaştırmalı Yaşam Döngüsü Analizi için gömülü enerjiyi (MJ) ve küresel ısınma potansiyeli (kgCO<sub>2</sub>e) 30 yıllık kullanım ömrü boyunca her bir cam tipi ve aynı şekilde 60 yıllık olarak metal cephe elemanları için hesaplanmıştır.

Yapılan hesaplamalarda Design Builder ve TS EN 15978 standardına dayalı olarak çalışan One Click LCA programı kullanılmıştır. Değerlendirmede, binanın “beşikten mezara” tüm yaşam döngüsü aşamalarına göre, küresel ısınma potansiyeli, asitleşme potansiyeli, ötrofikasyon potansiyeli, ozon tabakasını delme potansiyeli, alt atmosferde ozon oluşumu potansiyeli, birincil enerjinin toplam kullanımı ve biyojenik karbon depolama olmak üzere 7 çevresel etki değerlendirme kategorisine ait sonuçlara ulaşılmıştır. Sonuçlar, bina yaşam döngüsü aşamalarının, kullanılan malzeme gruplarının ve inşaat sahasındaki diğer faktörlerin çevresel etkilerini ele almaktadır.

### 3. BULGULAR

Design Builder programı ile önce baz senaryo için ofis binası simülasyonu oluşturulmuştur. Ofis binasında zemin için U-değeri 0.319 W/m<sup>2</sup>-K, çatı için 0.347 W/m<sup>2</sup>-K, duvar için 0.714 W/m<sup>2</sup>-K ve pencere için 2.665 W/m<sup>2</sup>-K alınmıştır. Merkezde yer alan bir numaralı termal bölge için ofis sirkülasyonuna dair yük bilgileri girilirken bunun dışında kalan ikinci termal bölge için açık ofis yük bilgileri girilmiştir. Doğal aydınlatmanın yetmediği alanlarda aydınlatma sistemi devreye girecek şekilde simülasyon oluşturulmuştur. Baz senaryoda cephe elemanlarında yapılan değişikliklerle diğer üç senaryo da cephe değişimleriyle modellenmiştir. Simülasyon sonunda alınan ısıtma, soğutma, aydınlatma ve elektrik yükleri **Çizelge 1**'de verilmektedir.

**Çizelge 1:** Senaryolara göre ısıtma, soğutma, aydınlatma ve elektrik yükleri

	Senaryo-1	Senaryo-2	Senaryo-3	Senaryo-4
<i>Isıtma yükleri</i>	454919 kWh	470358 kWh	517261 kWh	520087 kWh
<i>Soğutma yükleri</i>	1338580 kWh	1003719 kWh	1031313 kWh	1116449 kWh
<i>Ekipmanların yükleri</i>	554158 kWh	554158 kWh	554158 kWh	554158 kWh
<i>Aydınlatma yükleri</i>	239363 kWh	252543 kWh	253172 kWh	246875 kWh

Sonrasında EN 15978, ISO 14040 ve ISO 14044 standartlarına uygun veri tabanlarıyla ve CML yöntemiyle çalışan “tüm bina YDD - complete building LCA” aracı kullanılmıştır. Senaryolar için binanın yaşam ömrü yapılan diğer çalışmalar referans alınarak 50 yıl olarak kabul edilmiştir [17,18]. Tüm kullanılan malzemelerin metraj çalışması yapılarak, veri tabanından uygun malzeme değerleri belirlenmiştir ve **Çizelge 2**'de detaylı olarak listelenmiştir.



**Çizelge 2:** Senaryolara göre detaylı cephe malzemeleri metraji

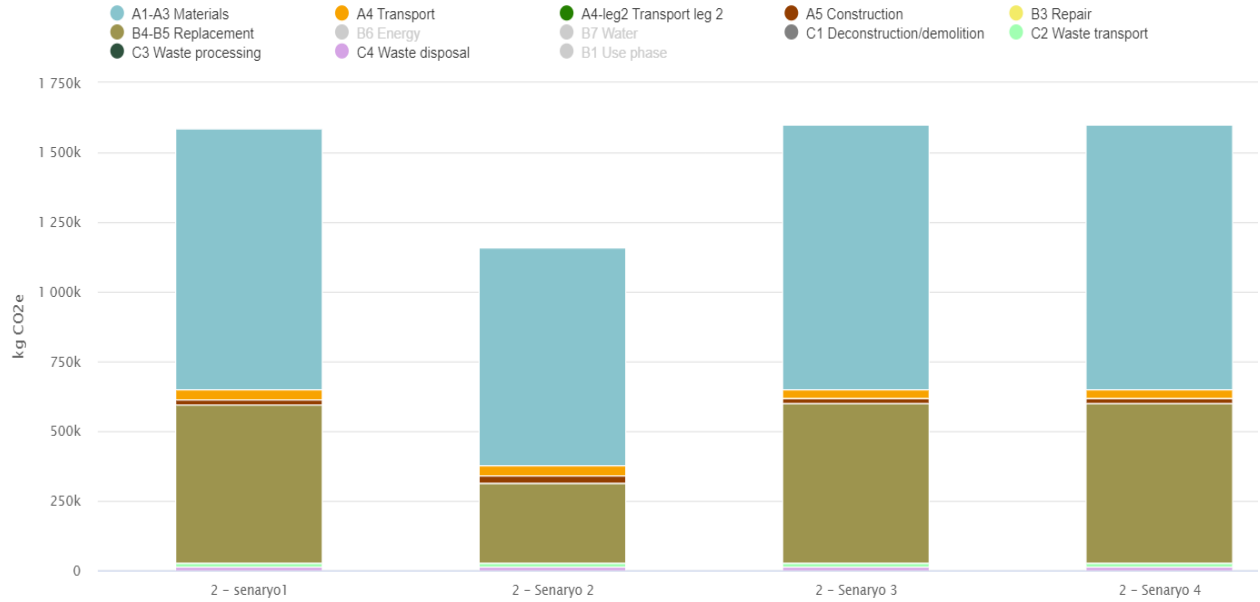
<b>SENARYO-1</b>	<b>Miktarı</b>	<b>Taşıma, km</b>	<b>Hizmet Ömrü, yıl</b>	<b>CO2e</b>
<b>Cephe elemanları</b>				1143 Ton CO2e- 2 %
Alüminyum çerçeve pencere çift camlı, çalıştırılabilir (açılabilir), %50 geri dönüştürülmüş alüminyum, 1,48 m x 2,18 m, 25,3 kg/m <sup>2</sup>	5760 m <sup>2</sup>	50	30	1143 ton CO2e - %2
<b>SENARYO-2</b>				
<b>Cephe elemanları</b>				718 Ton CO2e- 1 %
Alçıpan, L= 0,25 W/mK, R = 0,06 m <sup>2</sup> K/W, 15 mm, 8,3 kg/m <sup>2</sup> , 584 kg/m <sup>3</sup>	2880 m <sup>2</sup> x 30 mm	60	50	8,2 ton CO2e - ~%0
Alüminyum çerçeve pencere çift camlı, çalıştırılabilir (açılabilir), %50 geri dönüştürülmüş alüminyum, 1,48 m x 2,18 m, 25,3 kg/m <sup>2</sup>	2880 m <sup>2</sup>	50	30	572 ton CO2e - %2
Alüminyum cephe kaplama paneli, eloksallı, 7,5 kg/m <sup>2</sup> , %70 geri dönüştürülmüş içerik	2880 m <sup>2</sup>	50	60	128 ton CO2e - %0,4
Taş yünü yalıtım panelleri, kaplamasız, genel, L = 0,035 W/mK, R = 2,89 m <sup>2</sup> K/W (16 ft <sup>2</sup> Fh/BTU), 50 kg/m <sup>3</sup> (3,12 lbs/ft <sup>3</sup> ) (yoğunluklar için geçerlidir: 25-50 kg) /m <sup>3</sup> (1,56-3,12 lbs/ft <sup>3</sup> ), Lambda=0,0346 W/(m.K)	2880 m <sup>2</sup> x 50 mm	60	60	10 ton CO2e - %0,1
<b>SENARYO-3</b>				
<b>Cephe elemanları</b>				1158 Ton CO2e- 2 %
Alüminyum çerçeve pencere çift camlı, çalıştırılabilir (açılabilir), %50 geri dönüştürülmüş alüminyum, 1,48 m x 2,18 m, 25,3 kg/m <sup>2</sup>	5760 m <sup>2</sup>	50	30	1143 ton CO2e - %2
Alüminyum levha, genel, %90 geri dönüştürülmüş içerik, ortalama dünya alüminyum üretim teknolojisi	2880 m <sup>2</sup>	50	60	15 ton - ~%0
<b>SENARYO-4</b>				
<b>Cephe elemanları</b>				1158 Ton CO2e- 2 %
Alüminyum çerçeve pencere çift camlı, çalıştırılabilir (açılabilir), %50 geri dönüştürülmüş alüminyum, 1,48 m x 2,18 m, 25,3 kg/m <sup>2</sup>	5760 m <sup>2</sup>	50	30	1143 ton CO2e - %2
Alüminyum levha, genel, %90 geri dönüştürülmüş içerik, ortalama dünya alüminyum üretim teknolojisi	2880 m <sup>2</sup>	50	60	15 ton - ~%0

**Çizelge 3:** Senaryolara göre küresel ısınma potansiyeli, kg CO<sub>2</sub> eş değeri

	Senaryo-1	Senaryo-2	Senaryo-3	Senaryo-4
Elektrik	83616310,6	71000747,13	72107576,98	75199482,45
Doğal gaz	6823785	7623882,3	8327419,35	8369819,7
Alüminyum çerçevesi camlar	1143335,24	571667,6201	1143335,24	1143335,24
Alüminyum		127775,4897	15014,12441	15014,12441
Taş yünü		9960,082068		
Alçıpan		8196,79892		

Bunlara ek olarak binaların elektrik ve doğalgaz harcamaları Designbuilder programından alınan sonuçlara göre işlenmiştir. Bina strüktürü için alınan değerler tüm senaryolarda aynı olduğu için karşılaştırmaya alınmamıştır. Ayrıca cephede montaj aşaması farkı olarak gölgeleme elemanı yer alan cephelerden Senaryo-3 için 12kWh ve Senaryo-4 için 18kWh elektrik enerjisi gölgeleme elemanı sayısına göre harcandığı kabul edilmiştir. Böylelikle senaryolara dair gömülü karbon analizleri oluşturulmuştur ve **Çizelge 3**'te sonuçlar verilmiştir. Özellikle elektrik enerjisinin karbon emisyonunda önemli bir yer tuttuğu görülmektedir ve bunun gömülü karbon performansını da etkilemektedir.

**Şekil 4**'te gösterilen yaşam döngüsü aşamalarına göre küresel ısınma değerlendirmesine bakıldığında (B5 kategorisi özellikle aşırı baskın olduğundan devre dışı bırakılarak görselleştirilmiştir) cam malzemelerin yaşam ömrü ve yapım aşamasında ortaya çıkan emisyon değerleri açısından cephe tasarımında karbon emisyonlarını artırdığı gözlemlenmektedir.



**Şekil 4:** Yaşam döngüsü aşamaları için küresel ısınma, kg CO<sub>2</sub>e (B6-7-1 kategorileri dahil edilmeden).

Elde edilen verilere göre B-6 operasyonel enerji aşaması dahil edilmeden Senaryo-2 diğer tüm senaryolardan %30 un üstünde karbon emisyonlarında azalma sağlarken, B6 aşamasının eklendiği durumda da Senaryo-2'nin en yüksek değer veren Senaryo-3 ve Senaryo-4 göre tüm yaşam döngüsü açısından %18 daha az karbon emisyonuna sebep olduğu gözlemlenmektedir(**Çizelge 4**).

**Çizelge 4:** Yaşam döngüsü aşamaları için küresel ısınma, kg CO<sub>2</sub>e

Kategori	Senaryo-1	Senaryo- 2	Senaryo- 3	Senaryo- 4
<b>A1-A3</b>	9360610308011420,00	7847938086117790,00	9496987554002320,00	9496987554002320,00
<b>A4</b>	35861550055338200,00	35890002987356100,00	3587643821744060,00	3587643821744060,00
<b>A5</b>	17050784799056900,00	27613893142965900,00	18106125411228300,00	18110047191228300,00
<b>B4-B5</b>	5716676201149710,00	2858338100574850,00	5716676201149710,00	5716676201149710,00
<b>B6</b>	904400955978,00	78056117126166,00	79866484133598,00	8300077568007000,00
<b>C2</b>	13774712631943600,00	14549920120074200,00	14072475873991600,00	14072475873991600,00
<b>C3</b>	0,00	4514266401624,00	162513590458464,00	162513590458464,00
<b>C4</b>	12239946602969900,00	12193818032457200,00	12239946602969900,00	12239946602969900,00

#### 4. SONUÇLAR

Binalar inşa edilmeleriyle birlikte hem içinde yaşayan insanların hem de hepimizi etkileyen çevre üzerinde çok önemli etkileri vardır. Binaların çevreye etkilerinden birisi de küresel ısınma potansiyelidir ve bu gösterge, bir binanın yaşam döngüsü boyunca Küresel Isınma Potansiyeli (GWP) katkılarını ölçmektedir. Özellikle iklim değişikliğine yol açması açısından karbon değerlerinin tüm yapılı çevrede azaltılması sürdürülebilir bir gelecek açısından çok önemlidir.

Yapılan bu çalışmayla binalar için önemli bileşenlerden biri olan cephelerin tasarım kararlarının küresel ısınmaya etkisinin ölçülmesi hedeflenmiştir. Birçok farklı cephe sistemi olmasına rağmen çalışma 4 temel sistem ile sınırlandırılmıştır. Bir binanın gömülü karbon değeri seçilen bina malzemelerinden fazlaca etkilenmektedir. Bu nedenle tasarım aşamasında verilen kararlarda mutlaka yaşam boyu değerlendirmenin de dikkate alınması gerekmektedir. Bu noktada tasarımcıların bu alanda daha fazla bilgi sahibi olması ve ön tasarım kararlarına yardımcı bazı araçların geliştirilmesi gerekmektedir.

Malzeme tiplerinden özellikle cam elemanların oranlarının cephe performanslarını etkilediği bu çalışmayla tespit edilmiştir. Bildiri kapsamında ele alınan cam cephe ve %50 cam cephe arasında %30 dan fazla gömülü karbon emisyonunda fark elde edilmiştir. Bu noktada camın yaşam ömrünün alimünyumun yarısı olması ve malzeme üretim aşamasında harcanan enerji nedeniyle bu sonuçların oluştuğu düşünülmektedir. Kabuk sistemlerinde seçilen malzemelerin ön karbon değerlerinin bilinmesi özellikle üreticilerin bu verileri ortaya koyması ve tasarımcılarında bunlar hakkında ulaşabilecekleri veri tabanlarının ülkeler adına geliştirilmesi de önemli yol haritalarından biridir. Ülkemizde bulunan üretim değerleri ile bu çalışma yapılsa da malzemelere dair EPD'ler çok kısıtlıdır. Bu nedenle karbonsuzlaşma yolunda bu değerlerin mutlaka her ürün için oluşturulması gerekmektedir.

Benzer şekilde yapılan tasarımın iklim bölgesi ile birlikte değerlendirilmesi gerektiği ve özellikle operasyonel karbon aşamasında harcanan enerji miktarının iklime dayalı tasarım ve bina tipolojisi ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. İstanbul ili için yapılan çalışmada %50 şeffaf alanı azaltılmış, yalıtım değerleri opak malzeme ile artırılmış cephenin en iyi operasyonel karbon değerini verdiği görülmektedir. Ayrıca sabit gölgeleme elemanlarının soğutma yüklerinde azalmaya neden olsa da ısıtma yüklerinde ciddi bir artışa sebep olduğu ve alimünyum malzeme olarak belirlenen elemanların ön karbon değerlerini artırdığı belirlenmiştir. Buradan da hem ön karbon aşamasının hem de kullanım aşamasının binalar açısından beraber değerlendirilerek tüm yaşam döngüsü açısından optimum tasarım kararlarının verilmesi çevresel etki açısından son derece önemlidir.

## KAYNAKLAR

1. L. F. Cabeza,, Q. Bai, P. Bertoldi, J.M. Kihila, A.F.P. Lucena, É. Mata, S. Mirasgedis, A. Novikova, Y. Saheb Buildings. In J. S. P.R. Shukla, IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth (pp. 953-1048). Cambridge, UK and New York, NY, USA.: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781009157926.011
2. European Commission. (2019). Going Climate Neutral by 2050: A Strategic Long-Term Vision For A Prosperous, Modern, Competitive And Climate-Neutral Eu Economy. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Retrieved from <https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050-en>.
3. T.C. On İkinci Kalkınma Planı: 2024-2028 (2023). Ankara: T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı.
4. TS EN 15978. (2012). Yapılarda sürdürülebilirlik-Binaların çevresel performansının değerlendirilmesi-Hesaplama Yöntemi. Ankara: TSE.
5. T.Herzog, R. Krippner & W. Lang, *Facade Construction Manual*, Birkhäuser, Germany, (2004).
6. G. Berkin, Mimarlıkta Malzeme ve Detay. YEM Yayın, İstanbul, (2021). ss.54,78.
7. U. Knaack, T. Klein, M.Bilow & T. Auer. *Façades: Principles of Construction*. Birkhäuser, Germany, (2007), pp.14-19,24.
8. F.D.K Ching, B.S. Onouye & D. Zuberbuhler, *Çizimlerle Taşıyıcı Sistemler/Şemalar, Sistemler ve Tasarım*. YEM Yayın, İstanbul (2013), ss.14.
9. M. S. Ersoy (2008). Transparan cephe sistemlerinin sınıflandırılması, yapım ve kullanım performanslarının karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, ss. 5-6.
10. S. M. Levy, *The Construction Superintendents's Handbook*. Van Nostrand Reinhold, New York (1992), pp.239
11. S. Burton & M. Sala, (2001). Energy efficient office refurbishment. Earthscan.
12. F. Pomponi ,P. Piroozfar, , R. Southall, P. Ashton & E. Farr.(2019). Life cycle energy and carbon assessment of double skin façades for office refurbishments. *Energy and Buildings*-109, 143-156.
13. L. Hannoudi, N. Saleeb, & G. Dafoulas. (2024). The impact of glass properties on the energy efficiency and embodied carbon of multi-angled façade systems. *Journal of Cleaner Production*-437, 140725.
14. K. Hiyama & T. Srisamranrungruang. (2023). Low-carbon assessment of building facades using dynamic CO<sub>2</sub> intensity of electricity generation in Japan *Energy and Buildings*-278, 112637.
15. C. Cheong, A. Brambilla, E. Gasparri, A. Kuru & A. Sangiorgio. (2024). Life cycle assessment of curtain wall facades: A screening study on end-of-life scenarios. *Journal of Building Engineering*-84, 108600.
16. R. O'Neill, A. Window, S. Kenway, & P. Dargusch. (2021). Integrated operational and life-cycle modelling of energy, carbon and cost for building façades. *Journal of Cleaner Production*-286, 125370.
17. G. Wang, X. Li, C. Chang, & H. Ju. (2024). Multi-objective passive design and climate effects for office buildings integrating phase change material (PCM) in a cold region of China. *Journal of Energy Storage*,82, 1-19.
18. S. Ji, B. Lee, & M. Yi. (2021). Building life-span prediction for life cycle assessment and life cycle cost using machine learning: A big data approach. *Building and Environment*, Volume 205, 108267.

## **EŞİK MEKÂN KAVRAMI ÜZERİNDEN BİR KENTSEL İŞİTSEL PEYZAJ ÇALIŞMASI**

Şahan İraz Korkmaz <sup>1</sup>  
Muammer Yaman <sup>2</sup>  
OMÜ Mimarlık Fakültesi  
Mimarlık Bölümü, İlkadım, Samsun, 55100

### **ÖZET**

*İşitsel peyzaj kullanıcılar tarafından algılanan, deneyimlenen ve anlaşılan ses ortamı şeklinde tanımlanmaktadır. Bu yaklaşım, algılanan ses ortamını oluşturan seslerin çözümlenmesini ve ortam kullanıcıları üzerindeki etkisini öznel/nesnel yöntemlerle tespit edilmesini amaçlamaktadır. Kentsel işitsel peyzaj, kentin seslerini zaman, mekân ve hafızayı işaret etme amacıyla incelemekte ve sesleri kentin fiziksel olgusunun bir parçası olarak gözlemlemektedir. Kentin değişen ses ortamlarını çözümlerken ortaya çıkan eşik bölgeleri de kentsel işitsel peyzajın önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Bu bağlamda çalışma, kentin farklı bölgelerinde hâkim olan işitsel peyzajın analiz edilmesine ve değerlendirilmesine odaklanmaktadır. Çalışmada Samsun kentinde bulunan İlkadım ve Atakum ilçeleri ve bu ilçelerin eşik mekânı olarak değerlendirilebilecek Ondokuz Mayıs Üniversitesi Güzel Sanatlar Kampüsü alanlarında işitsel peyzaj çalışması yapılmıştır. Araştırma alanı olarak kentin içinde süreklilik arz eden bir bölge (İlkadım-Kampüs-Atakum) seçilmiş ve kesintisiz bir alan izlenmiştir. Çalışmanın yöntemi olarak araştırma alanında mevcut ses basınç düzeyleri ölçülmüş, sembol ses bilgisi ve memnuniyetinin elde edilmesi için alan anket çalışması düzenlenmiştir. Anket çalışması aynı zamanda ses ortam kalitesinin anlamsal fark testi ile belirlenmesini ve ses ortam memnuniyetinin elde edilmesini kapsamaktadır. Sonuç olarak, çalışma alanlarındaki ses basınç düzeyleri, sembol ses, ses ortam kalitesi ve ses ortam memnuniyetleri arasındaki benzerlikler ve farklılıklar eşik mekân kavramı üzerinden ortaya konulmuştur.*

*Anahtar sözcükler: Kentsel işitsel peyzaj, Eşik mekân, Sembol ses, Ses ortam kalitesi, Samsun*

### **ABSTRACT**

*The soundscape is defined as the sound environment that is perceived, experienced and understood by users. This approach aims to analyze the sounds that make up the perceived sound environment and determine their effect on the environment users through subjective/objective methods. Urban soundscape examines the sounds of the city to mark time, space and memory and observes sounds as part of the physical phenomenon of the city. Threshold zones, which emerge while analyzing the changing soundscapes of the city, constitute a major part of the urban soundscape. In this context, the paper focuses on analyzing and evaluating the soundscape prevailing in different parts of the city. In this paper, the soundscape study was carried out in the İlkadım and Atakum in Samsun and the OMU - Fine Arts Campus areas, which can be considered as the threshold zone of these districts. The current sound pressure levels were measured in the cross-sectional area and a structured questionnaire was conducted to obtain the information of soundmark and their satisfaction. As a result, the similarities and differences between sound pressure levels, the soundmarks, sound environment quality and sound environment satisfaction in the cross-sectional area were revealed through the concept of threshold zone.*

*Key words: Urban soundscape, Threshold zone, Soundmark, Sound environment quality, Samsun*

<sup>1</sup> e-posta adresi: sahaniraz.korkmaz@omu.edu.tr

<sup>2</sup> e-posta adresi: muammer.yaman@omu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Mimarlıkta fiziksel ortam, duyuşsal algılar aracılığıyla deneyimlenir ve kullanıcılar üzerinde duyuşsal etkiler yaratır. Mevzuatlarda da bu etkiler çerçevesinde kullanıcıların memnuniyetinin artırılması amacıyla fiziksel ortamın konfor düzeyinin sağlanması gerektiği belirtilmektedir [1]. İşitsel konfor, fiziksel ortamların alt başlıklarından biri olan ses ortamında sağlanması gereken konfor koşuludur. Mekânların özelliklerine, işlevine ve tasarımına bağılı olarak bu konfor düzeyi değışebilmekte ve mekân kullanıcıları arasında algısal farklılıklar ortaya çıkabilmektedir.

Mimarlık alanında ses bilimi disiplini ifade eden mimari akustik, ses ortamda konforun sağlanması için yapı akustiğı ve hacim akustiğı alanlarında çalışmaları içermekte olup, bu çalışmalar mevzuatlarda belirlenmiş ses düzeyi sınırlarına göre tasarımların oluşturulmasını amaçlamaktadır. Ancak Schafer tarafından 1969 yılında öne sürülen soundscape/işitsel peyzaj kavramı, ses ortamının değılendirilmesine alternatif bir bakış açısı sunmuştur [2]. Bu yeni kavram, ses ortamının algılanmasını, anlamlandırılmasını ve değılendirilmesini sağlamak için kullanılan bir çerçeve olarak kabul edilmektedir [3]. Ses ortamının analizi ve tasarımı bağlamında, bu yaklaşım geleneksel akustik yöntemlerden farklı olarak daha kapsamlı ve çok disiplinli bir yaklaşım sunmaktadır. İşitsel peyzaj kavramı, sesin mekansal, sosyal, kültürel ve duyuşsal boyutlarını içeren geniş bir perspektifi vurgulayarak ses ortamı çalışmalarına yeni bir boyut kazandırmaktadır. Schafer'a göre bu kavramı arka-plan sesleri (keynotes), ön-plan sesleri (signals) ve sembol sesler (soundmarks) olmak üzere üç temel bileşen oluşturmaktadır. Arka-plan sesleri, doğal çevrede sürekli olarak var olan seslerdir; ön-plan sesleri, anlık etkiler ve olaylarla ilişkilendirilen seslerdir; sembol sesler ise belirli bir alanı tanımlayan ve ona özgü olan seslerdir [2]. Yapılan çalışmalarda, sembol ses bilgisinin ve kullanıcı memnuniyetinin ses ortamı üzerindeki etkisini değılendirmek önemli bir konu olarak öne çıkmıştır. Bu çalışmalar, işitsel peyzajın sadece seslerin algılanmasıyla değıl, aynı zamanda sembol seslerin kullanıcılar üzerindeki etkisi ve memnuniyet durumu gibi faktörlerle de ilişkilili olduğunu vurgulamaktadır [4,5].

Çalışmalarda kullanılacak verilerin eldesinin standardizasyonu için ISO'nun 2018'de yayımladığı 12913-2 Akustik/İşitsel Peyzaj veri toplama ve raporlama gereksinimlerinde, ses ortamı değılendirmek için veri toplama yöntemleri tanımlanmaktadır. Kısaca yöntemler, ses ortamındaki seslerin sınıflandırılması, anketler/görüşmeler (öznel veri), binaural ses kayıtları ve ses yürüyüşü yöntemi (nesnel veri) gibi farklı tekniklerle özetlenebilmektedir [6]. Yöntemler arasından özellikle ses yürüyüşü sayesinde katılımcıların tüm rotalar boyunca mekânları deneyimlemeleri ve değılendirmeleri sonucu öznel tepkiler, yürüyüş esnasında binaural ses kayıtları alınması ile de nesnel ölçümler eldesi sağlanabilmektedir. Dolayısıyla işitsel peyzajın niceliksel ve niteliksel verilerinin birlikte değılendirilmesine olanak sağladığı için yaygın bir yöntem olarak benimsenmiştir [7-9]. Ancak ses yürüyüşünde elde edilen bu veri kullanımı, 2019'da yayımlanan ISO 12913-3: Veri analizi standardında desteklenirse de standardizasyon çalışmaları devamlılık göstermektedir [10].

Bu bağlamda çalışmada; ses yürüyüşü rotalarının belirlenmesi ve değılendirilmesine katkıda bulunmak amacıyla; rotalardaki tanımlı mekânların ötesinde, geçiş alanları olarak ifade edilebilecek eşik mekânlarının ve mekânsal sıralamanın önemine vurgu yapılmıştır. OMÜ Mimarlık Bölümü 2023-2024 güz yarıyılında akustik eğitim almış lisans öğrencileriyle birlikte yapılan ses yürüyüşünden öznel ve nesnel değılendirmelerin hem kendileri hem de birbirleri

arasındaki anlamlılıklar saptanmıştır. Çalışmalar, doğru verilerin üretimi ve analizi noktasında yeni bir yaklaşım oluşturmuştur.

## 2. İŞİTSEL PEYZAJ ÇALIŞMALARI VE EŞİK MEKAN

İşitsel peyzaj çalışmaları kentsel ve iç mekân ses ortamlarını iyileştirerek yaşam kalitesini arttırmada büyük önem taşıması nedeniyle, son yıllarda giderek araştırılan ve incelenen bir konu olmuştur. İşitsel peyzaj çalışmalarını tespit etmeye yönelik girişimlerin standartlaştırılması sonrasında konu daha çok gelişim göstermiştir [11]. İşitsel peyzaj çalışmaları özellikle kentsel ölçekte gelişim göstermiş ve ilerlemiştir. Kentin, kentsel mekânların hafızasının ve mekânsal kullanım deneyimlerinin önemli bir bileşeni olarak ses araştırmaları odaklanması gereken bir konu olmuştur. Kent ölçeğinde sembol seslerin olması ve sembol seslerin kentin hafızası için önemli bir yer tutması ile yapılmış olan çalışmalar bulunmaktadır [12-13]. Sembol seslerin tanımlanmasında ve açıklanmasında meydanlar, parklar, tarihi alanlar, işlek caddeler, konut alanları vb. mekânlar incelenmiş ve açık mekânlarda işitsel peyzaj çalışmaları yürütülmüştür [14-17].

İnsanların zamanlarının büyük bir kısmını kapalı mekânlarda geçirmeleri nedeniyle iç mekân akustik ortam kalitesi, insanların refahının artırılmasında önemli yapı fiziği konularından biri olmuştur. İç mekânda gürültü yönetimi ve kontrolü büyük önem taşımakla birlikte son yıllarda gürültüye yönelik müdahaleler yetersiz kaldığı da bir gerçektir. Özellikle kapalı mekânlarda işitsel peyzaj yaklaşımının gürültü yönetiminin yerini alması gerektiği tartışılmaktadır. Bu nedenle, gürültü yönetimini de içeren kapalı mekânlarda işitsel peyzaj yaklaşımı, kapsamlı çok faktörlü bir kapsama sahip olduğundan, yani akustik ölçümlerle sınırlı olmayıp aynı zamanda insan algısını ve bağlamı da dikkate aldığından, akustik ortamın tamamını yönetmeye yönelik daha iyi bir yaklaşım sunabilmektedir. Sonrasında kapalı mekânlarda işitsel peyzaj çalışmaları da yoğun bir araştırma alanı olmuştur. Müzelerde, açık ofislerde, eğitim yapılarında, dini yapılarla, huzurevlerinde vb. kullanım sınıflarında işitsel ortamın analiz edilmesi ve sembol seslerin tespit edilmesine yönelik araştırmalar sürdürülmektedir [18-21]. Literatürde, bu konuda elde edilen bilgilerin doğru bir şekilde edinilebilmesi için, ses ortamının hangi zaman diliminde incelenmesi gerektiği konusunda çeşitli varsayımlar ortaya konulmuştur. Ses ortamı değerlendirmesinde sembol seslere odaklanan araştırmalarda, uygun koşul ve zaman dilimlerinin seçilmesi gerektiği vurgulanmıştır ve sembol seslerin net bir şekilde algılanabilmesi için belirli bir ortam ve zaman aralığı gerekmektedir. Ve bu amaçla kullanılan mekanların, mevsimsel etkilerden en az şekilde etkilenen ve en yoğun kullanımın olduğu zaman dilimlerini tercih edilmesi gerektiği ifade edilmektedir [22].

Kent ölçeğinde kullanılan eşik kavramı genellikle planlama ve çevre düzenlemesi bağlamında kullanılmaktadır. Bu kavram, bir yerleşimde veya kentsel alanlarda belirli bir sınırı veya dönüm noktasını ifade etmektedir. Bu sınır veya dönüm noktası genellikle çeşitli faktörlerin birleşimiyle belirlenmekte ve yerleşimdeki veya kentsel alandaki değişimleri işaret etmektedir [23]. Genellikle kentsel eşik, şehir planlaması ve gelişim stratejilerinde belirli bölgelerin özelliklerini ve potansiyellerini değerlendirmek için kullanılmaktadır. Bu durum, kentsel alanların yönetiminde ve sürdürülebilir kent gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır. Araştırma kapsamında kullanılan kentsel eşik ise akustik çevrede ortaya çıkabilecek değişkenlerin hem mevcut ses ortamın analiz etmek ve ses ortamına verilen yanıtları tanımlamak için kullanılmaktadır. Kentin gelişen ve

ilerleyen dinamiklerinde kentsel akustik çevrenin fiziksel ve etki değerlendirmesinin değişmesi farklılaşması kentsel eşik ile değerlendirilmiştir.

Yapılan literatür araştırmaları ışığında Samsun’da önemli bir kent hafızasına sahip bölgede işitsel peyzajın araştırılması için rota oluşturulmuştur. Oluşturulan rota kentin iki farklı odak noktasını kapsayacak şekilde kurgulanmış ve bir akışın parçası olarak seçilmiştir. Ayrıca anket çalışması tüm ses kaynaklarının en aktif kullanıldığı zaman aralığında bir gün gidiş güzergâhı, bir gün de dönüş güzergâhı şeklinde yapılmış ve sonuçları analiz edilmiştir.

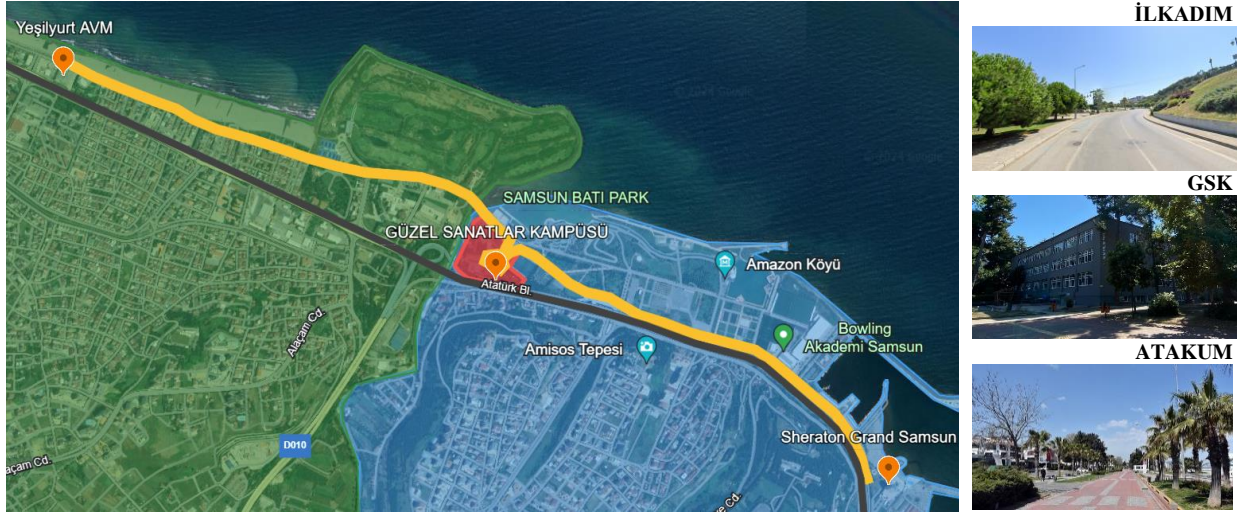
### **3. ALAN ÇALIŞMASI**

#### **3.1. Çalışma Alanları ve Alanların Ses Ortamı**

Çalışma alanlarından ilki olan İlkadım (İ) ilçesi, Samsun ilinin Merkez ilçesidir. İlçe, yaklaşık 7,5 kilometrelik bir sahil şeridi boyunca uzanmakta olup, temel ekonomik faaliyeti ticaret olarak öne çıkmaktadır. Atakum, Canik ve Kavak olmak üzere 3 ilçeye sınırı bulunmaktadır ve nüfusu 317000’e yakındır. Atakum (A) ise; 2008 yılında, Atakent, Kurupelit, Altınkum, Çatalçam ve Taflan beldelerinin birleşmesi sonucunda oluşturulmuş bir merkez ilçedir ve 250000’e yakın bir nüfusu bulunmaktadır. Orta ve Doğu Karadeniz bölgesinin en uzun sahil plaj alanına sahip olmasıyla bilinmektedir ve özellikle yaz aylarında il dışından gelen ziyaretçileriyle birlikte tam bir turizm merkezi haline gelmektedir. İlçe, golf sahası, plaj voleybolu, bisiklet yolları, yürüyüş yolları ve çok sayıda cafe/restoran mekanlarıyla birlikte çeşitli alternatif aktivitelere ev sahipliği yapmaktadır. Son olarak çalışma alanlarımızdan OMÜ Güzel Sanatlar Kampüsü (GSK); Samsun merkez ilçelerinden Atakum ve İlkadım İlçesi arasında sınır bir bölgede kentsel eşik noktası olarak konumlanmakta olup, denizin ve yeşil alanın birleştiği doğal güzelliklere sahip bir alanı kapsamaktadır. Şehrin en işlek arteri Atatürk Bulvarı ile sahil yolu olan Adnan Menderes Bulvarı arasında kalan Kampüs, 50 dönümlük bir arazi üzerinde Samsun Meslek Yüksekokulu, Güzel Sanatlar Fakültesi, Devlet Konservatuvarı ve Mimarlık Fakültesi’ne ev sahipliği yapmaktadır. Ayrıca bünyesinde spor salonu, kütüphane, yemek birimleri ve çeşitli etkinliklerin gerçekleştirildiği 350 kişilik çok amaçlı salon olan OMÜ Sahnesi’ni de bulundurmaktadır.

Seçilen 3 çalışma alanı; ticari işlev yoğunluklu İlkadım, eğitim işlevi yoğunluklu GSK ve sosyal işlev yoğunluklu olan Atakum, ana arter Atatürk Bulvarı ve sahil yolu Adnan Menderes Bulvarı ile bir süreklilik arz etmektedir. Bu sebeple ses yürüyüşü rotası, kullanıcılara yürüyüş yoluyla birlikte yaya aksı sağlayan Adnan Menderes Bulvarı üzerinden, kentteki 2 odak noktası olan Sheraton Grand Samsun Hotel ve Yeşilyurt AVM arasında, 4,4 km’lik bir mesafe arasında gidiş güzergahı (G-1); İlkadım-GSK-Atakum, dönüş güzergahı (G-2); Atakum-GSK-İlkadım şeklinde gerçekleştirilmiştir (**Şekil 1**).





Şekil 1: Ses yürüyüşü rotası, İlkadım-GSK-Atakum konumları ve alanlardan görseller

Ses yürüyüşü yapılan rota üzerinde üç farklı alanda akustik ölçümler gerçekleştirilmiştir. Akustik ölçümler için ses seviyesi ölçer (testo 816-1, IEC 61672-1 Sınıf 2) kullanılmıştır. İlkadım, GSK ve Atakum bölgelerinde ISO 1996-2 standardına göre yapılan akustik ölçümlerde A ağırlıklı ses basınç seviyeleri tespit edilmiştir. İlkadım bölgesinde 84,2 dBA (minimum 74,2 ve maksimum 87,4 dBA) düzeyinde; GSK bölgesinde 77,7 dBA (minimum 67,6 ve maksimum 79,6 dBA) düzeyinde ve Atakum bölgesinde 68,8 dBA (minimum 60,5 ve maksimum 69,9 dBA) düzeyinde bir ses basınç düzeyi tespit edilmiştir. İlkadım ve GSK'nin kente ait yoğun taşıt trafiğine yakın konumda olması bu bölgelerde yüksek ses basınç seviyelerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Atakum bölgesinde ise diğer bölgeler ile karşılaştırıldığında daha az ses basınç seviyeleri ile karşılaşmaktadır. Atakum'da bulunan yavaşlatılmış taşıt trafiği ve sahil alanının bulunması işitsel konfor açısından kent kullanıcılarına nispeten daha sessiz bir alan sunmaktadır.

### 3.2. Alan Anket Uygulaması ve Sonuçları

Anket formu; anket soruları ve anlamsal fark testi olmak üzere 2 bölümden oluşmaktadır. Anket soruları kısmında kullanıcıların demografik bilgileri, buldukları alanı kullandıklarına yönelik bilgileri, alanın ses ortamını değerlendirmeleri ve alandaki işitsel peyzaj bileşenlerinin tespiti ve memnuniyet durumları gibi verilerin alınması için oluşturulmuştur. Anlamsal fark testi kısmında ise; alanı deneyimleyen kullanıcıların olumlu(-2)-olumsuz(+2) yönde 5'li bipolar kategori uygulamalı değerlendirmesine ulaşılabilmesi için ses ortam açıklayıcılığı kanıtlanmış 19 sıfat çifti (Gürültülü-Sessiz, Memnuniyet Verici Değil-Memnuniyet Verici, Stres Yaratıcı-Dinlendirici, Heyecanlandırıcı-Yatıştırıcı, Ahenksiz-Ahenkli, Sert-Yumuşak, Keskin Değil-Keskin, Kalabalık-Tenha, Düzensiz-Düzenli, Uzak Plan Ses-Yakın Plan Ses, Terkedilmiş-Yaşayan, Durgun\_Neşeli, İç Karartıcı-Coşturucu, Yavaş-Hızlı, Boğucu-Ferah, Ağır-Hafif, Pürüzlü-Pürüzsüz, Alışılmış-Farklı) kullanılmıştır. İki bölümde de kullanılan veriler, ses yürüyüşü çalışma yöntemlerinde kullanılmış açık ve kapalı mekanda yapılmış işitsel peyzaj çalışmaları referans kaynak kullanılarak hazırlanmıştır [22, 24].

Alan anket çalışmasındaki anket bölümü sonucunda %56,4'ünü kadın, %43,6'sını erkeklerin oluşturduğu ve herhangi bir işitsel problemi olmayan grubun verdiği yanıtlara göre;

- Kullanıcıların Samsun’da bulunma süreleri en yüksek oranı %55 oranında 1-3 yıl, sonrasında %39 oranında 5 yıldan fazla ve %6 oranında 3-5 yıl şeklinde belirlenmiştir.
- Bölgelerin kullanım amaçları kullanıcılara göre İlkadım’da %33,3 oranında sirkülasyon/ulaşım, GSK’de %93,9 oranında eğitim, Atakum’da %40,6 oranında gezmek olduğu belirlenmiştir. Kullanıcıların diğer kullanım amaçları; İlkadım’da %15,2 gezmek, %12,1 rahatlamak/dinlenmek, %12 eğitim ve %9,1 eğlenmektir. GSK’de kullanım amacı %6,1 sirkülasyon/ulaşım ve son olarak Atakum’da kullanım amacı %28,1 eğlenmek, %21,9 arkadaşlarıyla buluşmak ve %6,3 rahatlamak/dinlenmek olarak belirlenmiştir.
- Kullanıcılardan çalışma alanlarının ses ortamını değerlendirmeleri istenildiğinde; İlkadım’ın ses ortamının %72,7 oranında kötü, GSK’nin ses ortamının %48,5 oranında iyi ve son olarak Atakum’un ses ortamının %50,0 oranında iyi olduğu belirlenmiştir. Kullanıcıların diğer ses ortam değerlendirmeleri; İlkadım’da %15,2 iyi, %12,1 kararsız; GSK’de %27,3 kararsız, %21,2 kötü ve son olarak Atakum’da %21,9 kararsız, %18,8 çok iyi ve %9,4 kötü olarak değerlendirilmiştir.

Anketin bu bölümünde elde edilen sonuçlarda kullanıcıların Atakum ses ortamını daha yüksek oranla iyi olarak değerlendirdiği, dolayısıyla ses ortam memnuniyeti sıralamasının Atakum>GSK>İlkadım olduğu belirlenmiştir. Ayrıca ses ortamı yüksek oranla kötü olduğu gözlemlenen İlkadım için iyileştirme çalışmalarının yapılması gerektiği görülmektedir. Çalışma alanlarının ses ortamının analizi amacıyla kullanıcılarla yapılan görüşmelerde, alanlardaki ses kaynakları ve sembol ses oluşturabilecek sesler belirlenmiş ve anket formu sonucu işitsel peyzaj bileşenlerinin tespiti ve memnuniyet durumları verilerini almak üzere kullanıcılara hazır olarak sunulmuştur. Bu kapsamda alanlarda belirlenen işlevlere bağlı sembol seslerle ilgili öngörüler; konuşma sesi, çocuk sesi, adım sesleri, kuş(martı) sesleri, evcil hayvan sesleri, müzik yayını sesleri, sandalye masa hareket sesleri, havalandırma-(fan) sesleri, teleferik sesi, karayolu sesleri, deniz taşıtı sesleri, scooter/bisiklet sesleri, günlük gösteri sesleri, spor kaynaklı sesler, dalga sesleri ve siren/anons seslerinin olacağı yönündedir.

Anket sonucu ilgili çalışma alanlarında kullanıcıların belirlediği sembol sesler ve bu seslerden memnuniyet verileri **Çizelge 1**’de sunulmuştur. Elde edilen verilere göre mekânsal işlevlere göre sembol ses verilerinde de farklılık gözlemlenmektedir. Tüm çalışma alanları için sembol ses özelliği gösteren “konuşma sesi” yalnızca İlkadım’da HMED/MED, GSK ve Atakum’da ise ME olarak değerlendirilmiştir. İlkadım’da sembol ses olarak değerlendirilmiş diğer seslerin; “çocuk sesi, teleferik sesi, karayolu sesleri, scooter/bisiklet sesleri ve siren/anons sesleri” olduğu gözlemlenmiştir. Belirlenen bu seslerden çoğu yüksek oranla HMED/MED olarak, yalnızca “scooter/bisiklet sesleri” ME olarak değerlendirilmiş. GSK’deki diğer sembol ses tespitleri ise; adım sesleri, kuş(martı) sesleri, müzik yayını sesleri, günlük gösteri sesleri ve spor kaynaklı sesler” olduğu yönündedir ve tüm sesler yüksek oranla ME olarak değerlendirilmiştir. Son olarak Atakum’daki diğer sembol ses verileri; “çocuk sesi, kuş(martı) sesleri, evcil hayvan sesleri, müzik yayını sesleri, sandalye masa hareket sesleri, deniz taşıtı sesleri, scooter/bisiklet sesleri, günlük gösteri sesleri, spor kaynaklı sesler ve dalga sesleri” olarak belirlenmiş ve tüm bu sesler yüksek oranla ME olarak ve yalnızca mekanik olarak nitelendirilebilecek “karayolu sesleri” HMED/MED olarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın ışığında yapılan özel görüşmelerde, İlkadım ilçesinde yapılan sembol seslerin kalabalık ve mekanik sesler olduğu ve HMED/MED şeklinde değerlendirildiği; GSK ve Atakum’daki sembol seslerin ise mekânsal canlılığı ifade eden sesler olarak ifade edildiği için neredeyse hepsi ME olarak değerlendirildiği görülmüştür.

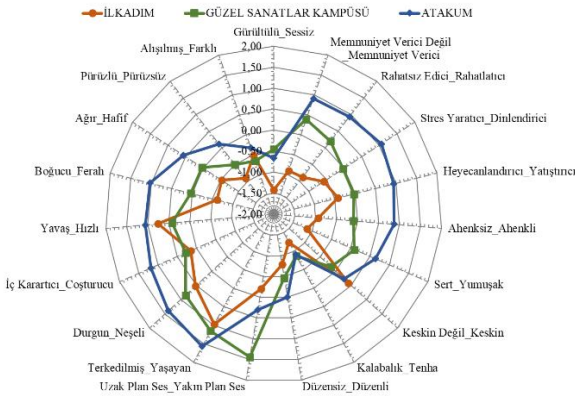
**Çizelge 1:** İlkadım, GSK ve Atakum’da elde edilen sembol ses ve bu seslerin memnuniyet bilgisi (ATS-“alanı tanımlayan ses/sembol ses”, ATSD-“alanı tanımlayan ses/sembol ses değil”, HMED/MED-“hiç memnun edici değil/memnun edici değil”, ME-“memnun edici”)

SESLER	ÇALIŞMA ALANLARI	Alanı Tanımlayan Ses Bilgisi	Alanı Tanımlayan Seslerin Memnuniyet Bilgisi
Konuşma Sesi	İlkadım	ATS	%53 HMED/MED
	GSK	ATS	%30 HMED/MED   %45 ME
	Atakum	ATS	%45 ME
Çocuk Sesi	İlkadım	ATS	%45 HMED/MED   %35 ME
	GSK	%87 ATSD	
	Atakum	ATS	%48 ME
Adım Sesleri	İlkadım	%78 ATSD	
	GSK	ATS	%45 ME
	Atakum	%57 ATSD	
Kuş(Martı) sesleri	İlkadım	%56 ATSD	
	GSK	ATS	%87 ME
	Atakum	ATS	%93 ME
Evcil hayvan sesleri	İlkadım	%80 ATSD	
	GSK	%67 ATSD	%67 ME
	Atakum	ATS	%78 ME
Müzik yayını sesleri	İlkadım	%79 ATSD	
	GSK	ATS	%64 ME
	Atakum	ATS	%52 ME
Sandalye masa hareket sesleri	İlkadım	%96 ATSD	
	GSK	%65 ATSD	
	Atakum	ATS	%40 KARARSIZ   %30 ME
Havalandırma-(Fan) sesleri	İlkadım	%95 ATSD	
	GSK	%95 ATSD	
	Atakum	%96 ATSD	
Teleferik sesi	İlkadım	ATS	%68 HMED/MED
	GSK	%100 ATSD	
	Atakum	%100 ATSD	
Karayolu sesleri	İlkadım	ATS	%90 HMED/MED
	GSK	%54 ATSD	%83 HMED/MED
	Atakum	ATS	%73 HMED/MED
Deniz taşıtı sesleri	İlkadım	%75 ATSD	
	GSK	%92 ATSD	
	Atakum	ATS	%58 ME
Scooter/bisiklet sesleri	İlkadım	ATS	%41 ME
	GSK	%67 ATSD	%44 ME
	Atakum	ATS	%45 ME
Günlük gösteri sesleri	İlkadım	%60 ATSD	
	GSK	ATS	%67 ME
	Atakum	ATS	%67 ME
Spor kaynaklı sesler	İlkadım	%60 ATSD	
	GSK	ATS	%64 ME
	Atakum	ATS	%62 ME
Dalga sesleri	İlkadım	%72 ATSD	
	GSK	%83 ATSD	
	Atakum	ATS	%74 ME
Siren/Anons sesleri	İlkadım	ATS	%80 HMED/MED
	GSK	%82 ATSD	
	Atakum	%66 ATSD	%59 HMED/MED

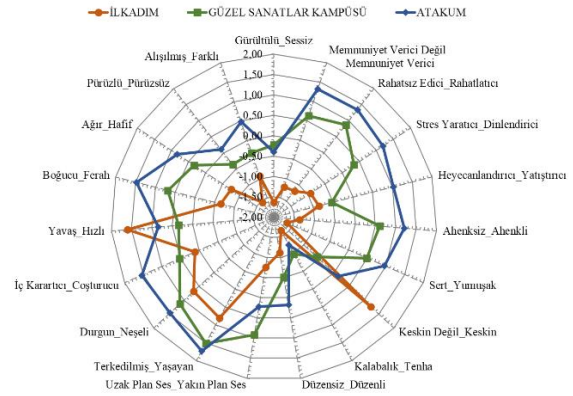
Anket formunun bir diğer bölümü olan anlamsal fark testi’deki 5’li bipolar kategori uygulaması sonucunda (Şekil 2) kullanıcılar çalışma alanlarının ses ortamını “gürültülü, kalabalık, yaşayan, neşeli, coşturucu ve hızlı” olarak, ayrıca “memnuniyet verici değil (İ)-memnuniyet verici (GSK,A), rahatsız edici (İ)-rahatlatıcı (GSK, A), stres yaratıcı (İ, GSK-G-1/İ-G-2)-dinlendirici (A-G-1/GSK,

A-G-2), heyecanlandırıcı (İ, GSK)-yatıştırıcı (A), ahenksiz (İ, GSK-G-1/İ-G-2)-ahenkli (A-G-1/GSK, A-G-2), sert (İ)-yumuşak (GSK, A), keskin değil (GSK)-keskin (İ, A), düzensiz (İ, GSK)-düzenli (A), uzak plan ses (İ)-yakın plan ses (GSK, A), boğucu (İ)-ferah (GSK, A), ağır (İ)-hafif (GSK, A), pürüzlü (İ, GSK)-pürüzsüz (A), alışılmış (İ, GSK, A-G-1/ İ, GSK-G-2)-farklı (A-G-2)” olarak değerlendirmiştir. Değerlendirmeler sonucunda İlkadım’ın ses ortamının G-1 ve G-2 güzergahında çoğunlukla olumsuz özellikler gösterdiği ancak G-2’de daha olumsuz bir sonuç çıktığı, GSK’nin ses ortamının G-1 güzergahında daha kararsıza yakınken, G-2 güzergahında daha olumlu bir sonuç çıktığı, Atakum’un ses ortamının ise G-1 ve G-2 güzergahında olumlu değerlendirildiği ancak G-2 güzergahında daha olumlu bir sonuç çıktığı sonucuna ulaşılmıştır.

SIFAT ÇİFTLERİ	G-1 GÜZERGAHI				G-2 GÜZERGAHI			
	İ	GSK	A	ORT	İ	GSK	A	ORT
Gürültülü/Sessiz	-1,42	-0,45	-0,67	<b>-0,85</b>	-1,63	-0,22	-0,40	<b>-0,75</b>
Memnuniyet Verici Değil/ Memnuniyet Verici	-0,91	0,39	0,91	<b>0,13</b>	-1,21	0,63	1,32	<b>0,25</b>
Rahatsız Edici/Rahatlatıcı	-0,88	0,19	0,94	<b>0,08</b>	-1,18	0,87	1,34	<b>0,34</b>
Stres Yararlı/ Dindendirici	-0,58	-0,03	1,06	<b>0,15</b>	-0,93	0,35	1,19	<b>0,20</b>
Heyecanlandırıcı/ Yatıştırıcı	-0,42	-0,03	0,94	<b>0,16</b>	-0,86	-0,53	1,02	<b>-0,12</b>
Ahenksiz/ Ahenkli	-0,94	-0,09	0,88	<b>-0,05</b>	-1,37	0,61	1,21	<b>0,15</b>
Sert/Yumuşak	-1,13	0,09	0,64	<b>-0,13</b>	-1,65	0,49	0,96	<b>-0,07</b>
Keskin Değil/Keskin	0,41	-0,16	0,27	<b>0,18</b>	1,23	-0,57	0,14	<b>0,27</b>
Kalabalık/ Tenha	-1,24	-0,88	-0,91	<b>-1,01</b>	-1,63	-0,98	-1,23	<b>-1,28</b>
Düzensiz/ Düzenli	-0,79	-0,47	0,00	<b>-0,42</b>	-1,12	-0,51	0,18	<b>-0,48</b>
Uzak Plan Ses/ Yakın Plan Ses	-0,21	1,44	0,30	<b>0,51</b>	-0,76	0,92	0,22	<b>0,13</b>
Terkedilmiş/ Yaşayan	0,97	1,16	1,58	<b>1,23</b>	0,81	1,52	1,73	<b>1,35</b>
Durgun/Neşeli	0,52	0,84	1,39	<b>0,92</b>	0,67	1,13	1,46	<b>1,09</b>
İç Kararlı/ Coşturucu	0,15	0,28	1,18	<b>0,54</b>	0,12	0,53	1,54	<b>0,73</b>
Yavaş/Hızlı	0,76	0,42	1,06	<b>0,75</b>	0,82	0,79	1,65	<b>1,09</b>
Boğucu/Ferah	-0,61	0,03	1,03	<b>0,15</b>	-0,66	0,68	1,48	<b>0,50</b>
Ağır/Hafif	-0,52	0,03	0,56	<b>0,02</b>	-0,75	0,34	0,83	<b>0,14</b>
Pürüzlü/Pürüzsüz	-0,91	-0,50	0,12	<b>-0,43</b>	-1,54	-0,36	0,11	<b>-0,60</b>
Alışılmış/Farklı	-0,52	-0,66	-0,33	<b>-0,50</b>	-0,93	-0,33	0,48	<b>-0,26</b>
<b>ORTALAMA</b>	<b>-0,44</b>	<b>0,08</b>	<b>0,58</b>	<b>ORT</b>	<b>-0,62</b>	<b>0,26</b>	<b>0,76</b>	<b>ORT</b>



İLKADIM-GSK-ATAKUM GÜZERGAHI (G-1)



ATAKUM-GSK- İLKADIM GÜZERGAHI (G-2)

Şekil 2: Çalışma alanlarının ses ortamının iki güzergahta yapılan ses yürüyüşü sonucu anlamsal fark testinde kullanılan 19 sıfat çiftine bağlı değerlendirmesi ve grafikleri

Çalışmanın sonunda anlamsal fark testi sonucu elde edilen çalışma alanlarındaki ses ortamlarının güzergahlara göre ortalama değerlerinin arasındaki benzerlikler ve farklılıkları ortaya koymak için, veriler üzerinde T-Testi analizi yapılmıştır. Ancak sonucunda tüm sıfat çifti verilerinin benzerlik gösterdiği bilgisine erişilmiştir. Analiz sonucu, ortalama alan verileriyle oluşturulduğu için bu sonucun çıkmasıyla T-Testi analiziyle herhangi bir değerlendirmede güzergah değişiminin önemli

bir farklılığı ifade etmeyeceğinden ses yürüyüşü verilerinin güzergahı önemsemeksizin kullanılabilceği sonucuna ulaşılmıştır. Bunun haricinde alanlar ölçeğinde değerlendirme yapıldığında olumlu algılamaların fazla olduğu ses ortamından değerlendirmelere başlandığında mekânsal değerlendirmenin daha olumlu, olumsuz değerlendirmelerin ise daha olumsuz olarak görüldüğü aşikardır.

#### 4. SONUÇLAR

Çalışmada Samsun'da İlkadım, Atakum ve kesişim noktaları OMÜ Güzel Sanatlar Kampüsü bölgelerinin ses ortamları arasındaki benzerlikler/farklılıklar ve işitsel peyzajda önemli bir veri eldesi sağlayan ses yürüyüşü yöntemindeki güzergahların değişiminin değerlendirmelere etkisi araştırılmıştır. Literatürde [22,24] önerilen öznel veri eldesi yönteminin uygulanması sonucunda kentsel işitsel peyzaj çalışmasının sembol sesin memnuniyet verilerine referans kaynakların haricinde farklı sayılardaki mekanlarla da ulaşılabildiği teyit edilmiştir. Bildiri çalışmasında; eşik mekan rotadaki mekanlardan farklı akustik özellikler gösterse de öznel değerlendirmelerin sayısal verileri, eşik mekanının bir diğer ses ortamına hazırlık mekanı olarak değerlendirmesinin kabul edilebilir olduğu ve ekstrem zaman aralıkları dışında ses ortam verilerinin rotadan elde edilen genel verilerin yaklaşık olarak ortalaması niteliğinde olduğu tespit edilmiştir. Sonrasında ses yürüyüşü güzergahlarına iyi olarak değerlendirilen bir ses ortamından başlanıldığında, olumlu değerlendirmelerin daha olumlu, olumsuz değerlendirmelerin ise daha olumsuz görüldüğü tespit edilmiştir. Son olarak olumlu ya da olumsuz olarak değerlendirilen ses ortamlarla başlanan ses yürüyüşlerinde, ortalamalarla yapılan analizlerle (T-testi) değerlendirme yapılabilirken, alanların tekli değerlendirmeleri ölçeğinde yapılacak analizlerde (korelasyon) değerlendirme yapılamayacağı tespit edilmiştir. Ancak çalışma haricinde genelleme yapılabilmesi için farklı yürüyüş rotalarıyla da aynı değerlendirmelerin yapılması gerekmektedir. Bu sebeple ses yürüyüşü değerlendirmelerinde güzergahlara göre bir standardizasyon modelinin geliştirilmesi gerektiği öngörülmektedir.

#### KAYNAKLAR

1. M. Şerefhanoglu Sözen, "Yapı kabuğunda ısı ve ses yönünden denetim-konfor ilişkisi," *Isı ve Ses Tutucu Malzemeler ve Uygulanma Koşulları Açık Oturum Bildirileri*, 24, (2001), 13-18.
2. R. M. Schafer, "The tuning of the world: Toward a theory of soundscape design." *Philadelphia, PA, USA: University of Pennsylvania Press*, (1980).
3. F. Aletta, J. Kang, Ö. Axelsson, "Soundscape descriptors and a conceptual framework for developing predictive soundscape models." *Landsc. Urban Plan.* 149, (2016), pp: 65-74.
4. S. Mancini, A. Mascolo, G. Graziuso, C. Guarnaccia, "Soundwalk, questionnaires and noise measurements in a university campus: A soundscape study." *Sustainability*, 13(2), (2021), pp: 841.
5. F. Aletta, et al. "Characterization of the soundscape in Valley Gardens, Brighton, by a soundwalk prior to an urban design intervention." *Proceedings of the Euronoise Conference*. (2015), pp: 1547-1552.
6. ISO 12913-2. "Acoustics-Soundscape-Part 2: Data collection and reporting requirements", (2018).

7. J. Yong Jeon, J. Young Hong, & P. Jik Lee, "Soundwalk approach to identify urban soundscapes individually." *The Journal of the Acoustical Society of America*, **134**(1), (2013), pp: 803-812.
8. J. Y. Jeon, I. H. Hwang, & J. Y. Hong, "Soundscape evaluation in a Catholic cathedral and Buddhist temple precincts through social surveys and soundwalks." *The Journal of the Acoustical Society of America*, **135**(4), (2014), pp: 1863.
9. C. Semidor, "Listening to a city with the soundwalk method." *Acta Acustica United with Acustica*, **92**(6), (2006).
10. ISO/TS 12913-3: "Acoustics - Soundscape - Part 3: Data analysis", (2019).
11. U.B. Erçakmak, & P.N. Dökmeci Yörükoğlu, "Comparing Turkish and European noise management and soundscape policies: A proposal of indoor soundscape integration to architectural design and application." *Acoustics* **1**, (2019), pp: 847-865.
12. G. Pérez-Martínez, A.J. Torija, & D.P. Ruiz, "Soundscape assessment of a monumental place: A methodology based on the perception of dominant sounds." *Landscape and Urban Planning*, **169**, (2018), pp: 12-21.
13. J. Jeon, & H. Jo, H. "Effects of audio-visual interactions on soundscape and landscape perception and their influence on satisfaction with the urban environment." *Building and Environment*, **169**, (2020), 106544.
14. X. Guo, J. Liu, C. Albert, & X.C. Hong, "Audio-visual interaction and visitor characteristics affect perceived soundscape restorativeness: Case study in five parks in China." *Urban Forestry & Urban Greening*, **77**, (2022), 127738.
15. W. Yang, & J. Kang, "Soundscape and sound preferences in urban squares: A case study in Sheffield." *Journal of Urban Design*, **10**(1), (2005), pp: 61-80.
16. S. Bahalı, & N. Tamer-Bayazit, "Soundscape research on the Gezi Park - Tunel Square route." *Applied Acoustics*, **116**, (2017), pp: 260-270.
17. P. Jennings, & R. Cain, "A framework for improving urban soundscapes." *Applied Acoustics*, **74**(2), (2013).
18. S. Yilmazer, & Z.M. Uğurlu, "A qualitative approach to explore auditory and visual perception in a hospital environment." *The Journal of the Acoustical Society of America*, **151**, (2022).
19. S.C. Topak, S. Yilmazer, "A comparative study on indoor soundscape assessment via a mixed method: A case of the high school environment." *Applied Acoustics*, **189**, (2022), 108554.
20. H.K. Kurukose Cal, J. Kang, & F. Aletta, "Methodological approaches and main factors considered in school soundscape studies: A scoping review." *Building Acoustics*, **31**(1), (2024), pp: 75-90.
21. A.A.M. Jaff, Ç. Erçin, & Z. Onur, "Assessing the soundscape characteristics of historical urban environments: An analysis of the Historical Erbil Citadel and its environments." *Buildings*, **13**, (2023), 3091.
22. Ş. I. Korkmaz, "Alışveriş merkezindeki akustik konforun irdelenmesine yönelik iç mekan işitsel peyzaj çalışması: Eskişehir Espark AVM örneği" *Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, (2019).
23. E. Şevik, & O. Çalışkan, "Heterotopyanın alansallığı: Heterotopolojinin temel mekânsal koşulu olarak kentsel eşikler." *Türkiye Kentsel Morfoloji Araştırma Ağı II. Kentsel Morfoloji Sempozyumu*, pp: 889-909.
24. A. Özçevik, "İşitsel peyzaj-Soundscape' Kavramı ile kentsel akustik konforun irdelenmesinde yeni bir yaklaşım", *Doktora Tezi, İstanbul, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2012.

# **YAPI BİLGİ MODELLEMESİ UYGULAMA PLANININ DÖNGÜSEL YAPI TASARIMI AÇISINDAN ELE ALINMASI: RAYLI SİSTEM PROJELERİ ÖRNEĞİ**

Semin Erdem<sup>1</sup>

Birgül Çolakoğlu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Yüksek Lisans Programı

<sup>2</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Taşkışla Kampüsü, Taksim, İstanbul, 34437

## **ÖZET**

*Mimarlık, mühendislik ve inşaat sektörü; disiplinler arası koordinasyonun gerektiği, çok paydaşlı, zaman ve maliyet kontrolü gereken bir alandır. Yapı bilgi modellemesi bu gereklilikleri yerine getiren binanın tasarımı, yapımı, malzeme detayları ve işletmesine kadar bina yaşam döngüsünün tüm aşamalarında kullanılan bir bilgi teknolojisidir. Yapı bilgi modellemesi bu özellikleri ile yapı sektöründe döngüsel ekonominin karşılığı olan döngüsel yapı tasarımı açısından da oldukça iyi bir araçtır. Literatürde ise bilgi teknolojilerinin yapı çevrede döngüsellik çalışmalarına entegre edilmediği üzerinde durulmaktadır. Ülkemizde, yapı bilgi modellemesi kullanımında öncü alanlardan olan raylı sistem projelerinde kullanılmak üzere yapı bilgi modellemesi kılavuzlarının oluşturulması gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı yapı çevrede döngüsellik kriterlerinin yapı bilgi modellemesi uygulama planı kapsamında İstanbul'daki raylı sistem projeleri örneği ile değerlendirilmesidir. Çalışmada yapı bilgi modellemesi uygulama planına döngüsel yapı kriterlerinin nasıl entegre edileceği araştırılacaktır. Uluslararası ve ulusal yapı bilgi modellemesi çalışmaları incelenerek, yapılacak olan döngüsel yapı tasarımı ile ilgili kapsamlı literatür taraması ile bu iki konu bütünleştirilecektir. Çalışma sonucunda elde edilmesi beklenen döngüsel yapı kapsamında ele alınan yapı bilgi modellemesi uygulama planı ile literatüre ve raylı sistem projelerinde işveren olan kamu kurumlarına katkı sağlanacaktır.*

*Anahtar sözcükler: Yapı Bilgi Modellemesi, YBM, BIM Uygulama Planı, Döngüsel Yapı Tasarımı, Döngüsel Ekonomi.*

## **ABSTRACT**

*The Architecture, engineering, and construction sectors require interdisciplinary coordination, involving multiple stakeholders and necessitating control over time and cost. Building Information Modeling (BIM) is an information technology utilized throughout all stages of a building's lifecycle, from design to construction and operation. Therefore, BIM serves as a valuable tool in the construction sector, particularly in the context of circular building design, which aligns with the principles of the circular economy. However, existing literature highlights a lack of integration of information technologies into circular economy in built environment. In Turkey, rail system projects are pioneering branch for using of BIM in the project because of obligations. This study aims to evaluate the incorporation of circularity criteria into the BIM Executive Plan (BEP) through the example of rail system projects in Istanbul within the context of the built environment. The research will explore how circular building criteria can be integrated into the BEP. Through examination of BIM studies and a literature review on circular building design, the study will integrate these two aspects. The expected contribution of the study is to contribute the BEP considering circular building principles to the literature and to the public institutions working for rail system projects.*

*Key words: BIM, BEP, BIM Executive Plan, Circular Building Design, Circular Economy.*

<sup>1</sup> e-posta adresi: erdemsem@itu.edu.tr

<sup>2</sup> e-posta adresi: colakoglumer@itu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Sanayi devrimi ile kente göçün artması buna bağlı olarak kentlerde nüfus artışı ve çevre kirliliği, biyolojik çeşitlerin azalması ve iklim değişikliği günümüzün en önemli sorunları haline gelmiştir. İnşaat sektörünün bu konudaki olumsuz etkisi azımsanamayacak kadar fazla olmasıyla dikkat çekmektedir. Günümüzde sanayileşmiş ülkelerde inşaat sektörü en çok kaynak kullanan sektördür [1]. Dünya genelinde kaynak kullanımının yüzde 30'u ve oluşan toplam katı atığın yüzde 25'ine inşaat sektörü neden olmaktadır [2]. Dünya Ekonomi Forumu'nun 2016 senesine ait raporunda mühendislik ve inşaat sektörünün diğer sektörler arasındaki en çok ham madde tüketen sektör olduğu, global çelik üretiminin yüzde 50'sinin ve 3 milyar ton ham maddenin inşaat sektöründe harcandığı belirtilmiştir [3]. Dünya genelinde kaynak kullanımının yüzde 30'u ve oluşan toplam katı atığın yüzde 25'ine inşaat sektörü neden olmaktadır [2]. Ayrıca Eurostat'ın 2020 senesi için yaptığı araştırmada inşaat sektörü Avrupa'da çıkan toplam atığın yüzde 38.7'sini oluşturmakta olup, toplam sera gazı emisyonu yayma oranının yüzde 39'una neden olmaktadır [1]. Öte yandan inşaat ve yıkım atıklarının yüzde 20-30'u kurtarılıp, yeniden işleme alınmaktadır [4]. Bu değerlerin de vurguladığı gibi yapıli çevre enerji, malzeme ve maden kullanımının ölçeği açısından kaynak kullanımının yoğun olduğu bir alandır [5]. Göswein ve diğ. (2022) Avrupa Birliği'nin ilgili mevzuatları inşaat sektöründe yüzde 70 geri dönüşüm ve yeniden kullanımı hedeflerken, atıkların genellikle katı atık sahalarına atıldığına vurgu yapmakta ve inşaat sektöründeki hedefler ile sektördeki mevcut uygulamaların arasında büyük bir çelişki olduğunu vurgulamaktadır [6].

Dünya Ekonomi Forumu'nun 2016 senesine ait raporunda; küresel ölçekte inşaat sektöründe döngüsel ekonomiye geçişin senelik 100.000.000 dolar kazanç sağlayacağına değinilmiştir [3]. Al-kullan-at yaklaşımı ile döngüsel ekonominin tamamen zıttı olan doğrusal ekonomi modeli sanayi devriminden itibaren doğal kaynakların sömürüsüne ve çevre bilinçsizliği sebepli uzun dönem etkilere neden olmaktadır [7]. Aksine döngüsel ekonomi yapıli çevrede malzeme ve yapı elemanlarının bir döngü içinde tekrardan kullanılması ve atık yaratılmaması ile binaların bir malzeme deposu olarak kullanılmasını sağlayacaktır [8].

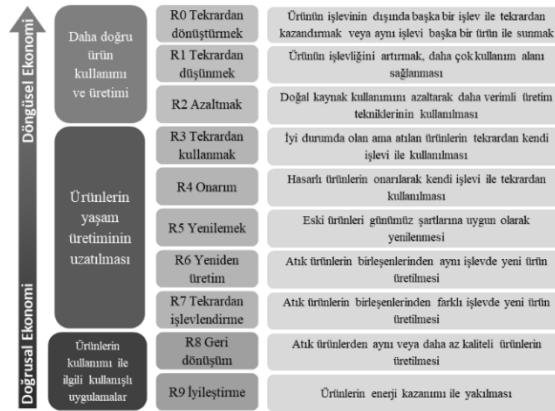
Birçok sektörde dijital teknolojiler; döngüsel ekonomi modelinin en önemli destekleyici etmenlerinden biridir. Ancak yapıli çevrede döngüsellik konusunda dijital teknolojilerinin kullanımını araştıran çalışma sayısı oldukça azdır [1]. Yasal, teknolojik, sosyal, kültürel ve ekonomik açıdan yapıli çevrede döngüsel ekonomi uygulamalarını engelleyen çeşitli zorluklar bulunmaktadır. Yapı Bilgi Modellemesinin (YBM) sürdürülebilir kullanım ömrü sonu için bir dijital model olması ve malzemelerin verimli bir şekilde yeniden kullanılmasını sağlayan malzeme pasaportlarına bir altlık olmasıyla tüm bu zorluk ve engellere bir çözümdür [9]. YBM gerek paydaşlar arasında bütünleşik proje teslim/iletim sistemi ile gerekse tasarım optimizasyonu açısından doğal kaynak kullanımı ve atık miktarını azaltarak yapı tasarım optimizasyonu ile sürdürülebilir yapı tasarımına katkı sunarken döngüsel ekonomi açısından da tasarım sürecini ileriye taşıyacaktır [1].

Bu doğrultuda bu çalışma kapsamında yapıli çevrede döngüsellik konusunda dijital teknoloji olarak YBM entegrasyonu araştırılacaktır. Çalışmada bu entegrasyonun çerçevesini tanımlayacak bir YBM Uygulama Planı (BUP) hazırlanması amaçlanmaktadır. BUP çalışması raylı sistem projeleri örneği ile ele alınarak literatüre ve raylı sistem projelerinde işveren olan kamu kurumlarına katkı sunacaktır.



## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Tüketime dayalı doğrusal ekonomi doğal kaynakların verimli kullanımını dikkate almak yerine al-yap-kullan-at modeli doğal kaynakların kontrolsüz tüketilmesi, biyolojik çeşitliliğin azalması ve iklim değişikliği gibi başlıca sorunları çözümsüz hale getirmektedir [10]. Son yıllarda bu tüketim anlayışının önüne geçmek için kaynakların daha verimli kullanılmasını hedefleyen döngüsel ekonomi modeline geçilmesi gerektiği öngörülmektedir. Stahel ve Reday (1976) endüstriyel ekonomi çerçevesinde döngüsel ekonomi kavramını ortaya çıkarmışlardır [10]. Endüstriyel üretimde kapalı döngü ekonomisi olarak kavramlaştırılan model kapsamında stratejiler israfın ve atığın önlenmesi, bölgesel istihdam sağlanması, kaynak verimliliği ve malzemelerin yeniden kullanılması olarak tanımlanmıştır [11]. Döngüsel ekonomi kavramına ilişkin temel terimlerden biri olan beşikten beşiğe sistemi 2002 yılında kimyager Braungart ve mimar McDonough tarafından ortaya konulmuştur. Beşikten beşiğe sistemi geleneksel beşikten mezara anlayışından koparak genel olarak ürün, malzeme ve hizmet tasarlamayı hedefler [12]. Döngüsel Ekonomi konusunda temel kaynaklardan bir diğeri olan Ellen MacArthur Foundation (2013) tarafından yayımlanan Towards the Circular Economy kitabında ise döngüsel ekonomi kavramı amaç ve tasarım temelinde onarıcı ve yenileyici olan endüstriyel ekonomi olarak tanımlanmıştır. Döngüsel ekonomi ile “kullanım ömrü sonu (end-of-life)” kavramı yerini “yenileme (restoration)” kavramına bırakmaktadır. Söz konusu olan bu yenileme kavramı ile yenilenebilir enerji kullanımı, yeniden kullanımı engelleyen zehirli maddelerin kullanımının bırakılması ve tasarımda atıkların azaltılması hedeflenir [9].



Şekil 1 Döngüsellikte 9R kavramı. Krichher ve diğ.'den (2017) uyarlanmıştır

Krichher ve diğ. (2017) döngüsel ekonominin 114 tanımını inceledikleri makalede doğrusal ekonomiden döngüsel ekonomiye geçiş 9R (dokuz adet re- geri/yeniden terimi) ile anlatılmıştır. Bu 9R terimi (Şekil 1) doğrusal ekonomiye yakın olan terimlerden biri malzemeyi aynı seviye kalite veya daha düşük kalitede çevirmek anlamına gelen geri dönüşümken daha ileri seviyelerde ise ürünün başka kullanıcı tarafından, iyi bir durumda ilk amacı ile yeniden kullanılması ile tanımlanmıştır [13]. 2008 yılında yaşanan mali kriz konucunda dünya geneli bu durumdan etkilenmiş ve bu sayede ham madde ihtiyacını azaltan, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını dikkate alan, kaynak verimliliği ve yenilenebilir enerji kullanımını hedefleyen döngüsel ekonomi önem kazanmıştır [14]. Avrupa Birliği atık yönetimi konusunda güncellemeler yaparak, Avrupa Komisyonu tarafından 2020 senesinde ile “Döngüsel Ekonomi Eylem Planı” olarak son hali yayımlanmıştır [15]. Türkiye’de ise ham madde ve doğal kaynakların yönetimi ve atık yönetiminde kaynakların

korunmasını hedefleyen sistemin kurulmasını sağlayan Sıfır Atık Yönetmeliği 2019 senesinde yayımlanmıştır [16]. Ayrıca Türkiye'nin 2021 senesinde "Paris İklim Anlaşması" ile taraf olduğu "Avrupa Yeşil Mutabakatı" çerçevesinde yürütülen çalışmalar döngüsel ekonomi kavramının yaygınlaşmasını ve yeni iş modellerinin oluşmasını sağlamıştır [15].

Literatürde döngüsel ekonominin inşaat sektöründeki etkilerini ve zorluklarını araştıran çalışma; döngüsel ekonomi kapsamında özel bir binanın vaka çalışılması olarak çalışılmadığının ve henüz kapsayıcı bir ölçekte döngüsel ekonomi entegrasyonunu metodoloji çerçevesinin geliştirilmediğini sonucunu ortaya koymaktadır [17]. Döngüsel ekonomi yapı ölçeğinde ele alan Arup Mühendislik Firması (2016) ekosistem olarak tanımladığı süreçler; tasarım, kaynak girişi, inşaat, işletme, yenileme, sökülme ve tekrardan işlevlendirme şeklindedir. Ekosistem içinde iş birliği bulut model olan YBM Modeli üzerinden yapılacak, bileşenler ve yapı elemanları satın alınmak yerine kiralanacaktır [3]. Tasarım aşamasında gelecekteki ihtiyaçlara göre değişebilen genişlemeye veya sökülmeğe uygun tasarımlar gerekmektedir. Yapım aşamasında yapı elemanları ve malzemeleri başka sanayi kollarından geri dönüşüm veya yeniden kullanım ile temin edilebilir. Aynı zamanda kullanılan malzemeler yerel pazardan temin edilebilen malzemeler olmalıdır [3]. Döngüsel ekonominin yapı endüstrisine uygulanmasını tersinir yapı tasarımı ile entegre eden Durmisevic (2018), bağımsızlık ve değişilebilirlik olarak iki önemli ölçüt olarak belirler. Mekânsal kurguyu kullanım senaryosunda işlev değişikliğine göre esnek tasarlamak gerekirken, yapısal tasarımda değişimi ise işlevsel ve teknik bağımsızlık olarak iki ana özellik ile ele alır [18]. Bu doğrultuda binaların tasarım kararlarının esnek bir şekilde değişime açık olması, fonksiyonun, mekân düzeninin ve mekan boyutlarının değişilebilir olması olarak "Uyum için Tasarım" ve binaların tasarımıyla, elemanlarının sökülmesi ve ayrılmasıyla ve yeniden kullanılabilirliği tersinir yapı olması da "Söküm için Tasarım" olarak tanımlanır [19]. Yapısal sistem ve birleşim sistemleri (detayları) açısından birbirine bağlı olmayan işlevlere sahip olabilecek şekilde tasarım yapılmaz. Öte yandan sökülme, bakım ve onarım gibi süreçlerde kolaylık sağlaması amacıyla farklı işlevlere sahip modüller arasında birbirine bağımlı olmayan bir şekilde açık hiyerarşi ile tasarlanması gerekmektedir [20]. Son olarak ise malzeme ölçeğinde fiziksel değişilebilirlik ana amaçtır; bir detay sisteminden bir alt eleman ayrılacağında bu durum diğer elemanlara işlev veya kalite olarak zarar vermemelidir [18].

Yapılı çevre ile döngüsel ekonomi konularını birlikte ele alan öncü projelerden olan Building as Material Banks (BAMB) Projesi kapsamında yapılan uluslararası bir konferansta, yapılı çevrede döngüsellik açısından "döngüsel ekonominin gerektirdiği paradigma değişimini; binaların malzeme bankası olması" şeklinde açıklamıştır [21]. İnşaat sektöründe döngüsel ekonomiye geçişin kesinlikle YBM ile olması gerektiğini savunan Charef ve Emmitt (2021) ise YBM'nin mevcut kullanımları ile yıkım/söküm süreci için bir altlık olması ve kullanım ömrü sonu değerlendirmesine katkı sağlarken YBM'nin döngüsel ekonomi yaklaşımı açısından sunduğu yeni kullanımları ise kullanım ömrü sonu için dijital model, proje veri tabanı, veri kontrolü, döngüsellik değerlendirmesi (8. Boyut – 8B), malzemelerin yeniden değerlendirme süreci, malzeme pasaportu ve bankası olarak listeler [22].

### 3. YÖNTEM

Literatürde dijital teknolojilerin yapılı çevrede döngüsel ekonomi konusuna kapsamlı bir şekilde entegre edilmediğinin üzerinde durulmaktadır. Aynı zamanda birçok çalışmada YBM'nin yapılı çevrede döngüsellik açısından oldukça uygun bir destekleyici araç olduğuna vurgu yapılmaktadır.

Bu çalışmada yapılı çevrede döngüsel ekonomi ve YBM entegrasyonu ile ilgili kapsamlı bir literatür taraması ardından bu entegrasyonun BUP'un nasıl işlenmesi gerektiği araştırılacaktır. Ardından hazırlanacak olan BUP ile döngüsel ekonomi kriterlerinin YBM ortamına nasıl yansıtılabileceği ortaya koyulacaktır. BUP, ülkemizde YBM kullanımında öncü sektör olan raylı sistem projeleri açısından ele alınarak İstanbul Büyükşehir Belediyesi Raylı Sistem Daire Başkanlığı için projelendirme sürecinde kullanılmak üzere yapılı çevrede döngüsel ekonomi kriterlerine uygun BUP hazırlanacaktır.

### 4. YAPI BİLGİ MODELLEMESİ UYGULAMA PLANININ DÖNGÜSEL YAPI TASARIMI AÇISINDAN ELE ALINMASI

Amerika Ulusal Yapı Bilgi Modellemesi Standart Komitesi (The National Building Information Modeling Standards -NBIMS) YBM'i yapının yaşam döngüsüne ait paylaşımlı bilgi kaynağı olan ve yapının fikir proje aşamasından yıkımına kadar olan süreçte çok farklı paydaşların koordinasyonunu sağlayan dijital bir temsil olarak tanımlar [23]. Nesne tabanlı bir yazılım tarafından üretilen YBM Modeli parametrik objeler ile yapı elemanlarının geometrik, mekânsal ve metraj bilgilerini içerirken aynı zamanda yapının maliyet, süre ve yapım tekniği ile ilgili bilgileri de içermektedir [4].

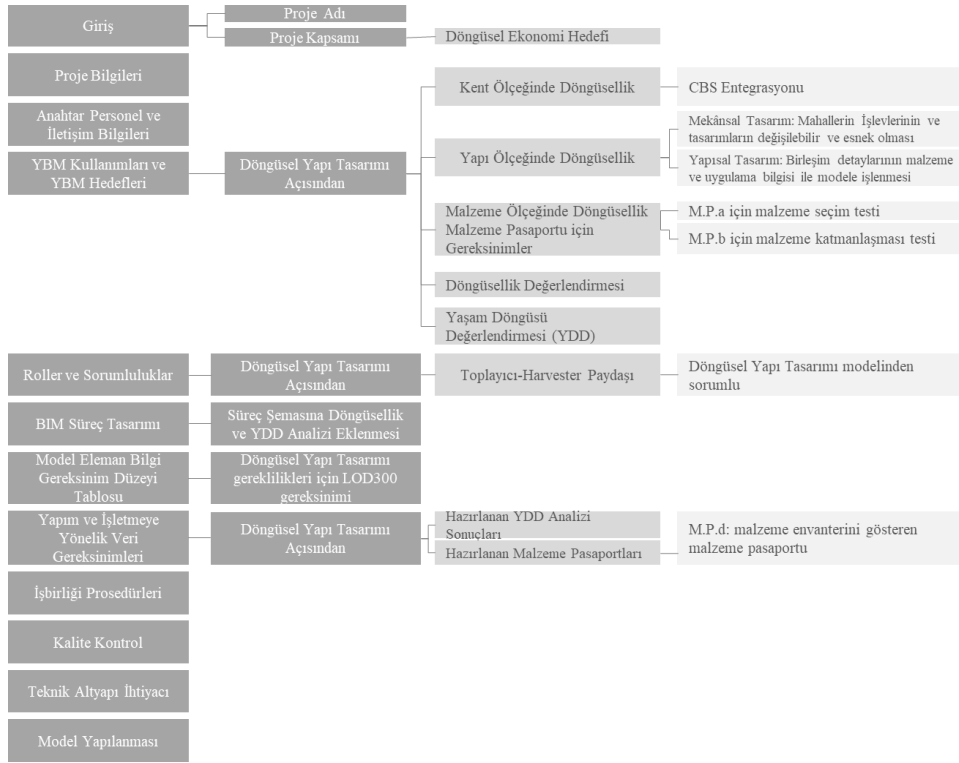
Mimarlık, mühendislik ve inşaat sektöründe YBM'den verimli olarak faydalanmak için çeşitli YBM dokümanları ve kılavuzları yayımlanmıştır. Bu dokümanlar arasında standartlar, işbirliği ve koordinasyon kılavuzları ve proje ve yapım aşaması için BUP dokümanı bulunmaktadır. Çeşitli kuruluşlar ve üniversiteler BUP yayımlamışlardır.

BUP, YBM projesi kapsamında farklı paydaşlar arasında yürütülen süreç yönetim dokümanı olup, proje süreci boyunca proje ekibinin her amacına ve uygulama detaylarına ait her ayrıntıyı kapsar. Projenin en erken evresinde geliştirilmesi gereken BUP proje boyunca takip edilen, güncellenen, eklemeler yapılan ve projenin evresine göre gereken durumlarda revize edilen bir dokümandır [23]. Kısacası, BUP proje yaşam döngüsü boyunca yaşayan bir dokümandır. ISO 19650-2:2018 standardı BUP'nı proje teslim ekibi tarafından bilgi yönetiminin nasıl yürütüleceğini ve görev atanacağını anlatan doküman olarak tanımlar [24]. Buna ek olarak BUP, inşaat sürecinde olduğu kadar işletme ve bakım onarım süreçlerinde de bilgi aktarımına katkı sağlar [25]. Öte yandan, YBM'nin ele alındığı birçok çalışma varken, BUP açısından ele alan çalışmaların azlığı göze çarpmaktadır [24].

YBM'nin proje inceleme, standartlaşma, sertifikasyon, proje tasarımı, mühendislik analizleri, kentsel tasarım, koordinasyon, planlama ve dokümantasyon açısından kullanılması ve proje enerji analizi ve kaynak verimliliği analizi ile yaşam döngüsü maliyeti açısından döngüsel ekonomiye katkı sağlayacağı sonucuna ulaşılmış olup YBM'nin bina performansı ve optimizasyonu için veri sağlayacağını, malzeme ve sistemlerin döngüsel ekonomiye göre fayda-maliyet analizi olarak katkı

sağlayacağı ortaya konmuştur [9]. Ayrıca yapı malzemeleri ve yapı elemanlarına dair bilgi ve belge eksikliği ve bu nedenle iş takiplerinin zor olmasını yapı endüstrisinde döngüsel ekonomiye geçişin en büyük engellerinden olarak görünmektedir. Bu doğrultuda malzeme pasaportları, YBM ortamında hazırlanacak olan dijital ürün pasaportları önemli bir katkı sağlamaktadır [26]. Malzeme pasaportunu binada kullanılan her malzemenin kalitesi, çıkış yeri ve sökülme bilgilerini depolayarak yapıların yenilenme veya yeniden kullanılma durumlarında malzemelerin yeniden değerlendirilmelerini sağlayan bilgileri içeren sayısal bir doküman olarak tanımlanır [27]. Bu doğrultuda bu verilerin modele nasıl işlenmesi gerektiğinin BUP'ta detaylı olarak tanımlanması gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında, 13 Şubat 2024 tarihinde İBB Raylı Sistem Dairesi Başkanlığı tarafından düzenlenen tanıtım toplantısında yayımlanan BIM Teknik Şartnamesi eklerinden olan Tasarım Süreci BIM Uygulama Planı dokümanı incelenmiştir. Yapılan araştırmalar doğrultusunda döngüsel yapı tasarımı çerçevesinde ele alınarak mevcut Tasarım Süreci BUP'na gerekli eklemeler yapılmıştır ve BUP kurgusu güncellenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2 – Yenilenen BUP Altlığı - Döngüsel Yapı Tasarımı kapsamında BUP'a eklenmesi gerekenler.

Çalışma kapsamında raylı sistemlere ait BUP'un ele alınmasının ana sebebi ülkemizde YBM konusunda öncü proje alanı olduğu için ve ihale gerekliliklerinde YBM kullanımının zorunlu hale getirilmesidir. Bu çalışmada yapıli çevrede döngüsel ekonomiye geçişin dijital teknolojilerden YBM aracılığı ile yapılması hususu tartışılmakta olup döngüsel ekonomi ve raylı sistem projelerinde entegrasyonunu kapsamamaktadır.

Döngüsel yapı tasarımı açısından ele alınan projede öncelikli olarak belirlenmesi gereken; proje genelinde Kricherr (2017) [13] tarafından özetlenen, döngüsel ekonomi açısından hedeflerin

belirlenmesi gerekmektedir. Ardından asıl olarak 4. Bölüm olan YBM Kullanımları ve Hedefleri Bölümünde döngüsel yapı tasarımı ve YBM entegrasyonu detayları belirtmektir. Döngüsel yapı tasarımının kent ölçeği, yapı ölçeği ve malzeme ölçeği olarak 3 fazda planlanması gerekmektedir. Malzeme ölçeğinde işlenecek olan Malzeme Pasaportları sadece malzeme ve yapı ölçeğinde kalmayarak kent ölçeğinde de döngüsel ekonomiye katkı sunmaktadır. Yapı ölçeğine uygun olarak hazırlanan malzeme pasaportları Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) aracılığı ile kentteki konumlarına işlenerek kent içindeki malzeme ve kaynak aktarımı için kullanılır. İl ve ilçe belediyelerine plan yenileme, yapı stoğu bilgisi, yapıların kullanım ömrü sonu bilgisi, yenileme ve yeniden kullanımla ilgili, kaynak kullanımı ve atık malzeme tahmini açısından sayısal ortamda depolama sağlar [28]. Kent ölçeğinde malzeme pasaportu verisi elde etmek için lazer veya zemin altı radar tarama yöntemlerinin kullanılması gerekir [4]. Bu noktada YBM ve CBS entegrasyonu önem kazanmaktadır.

YBM Kullanımları ve Hedefleri Bölümünde Yapı Ölçeğinde Döngüsellik başlığı altında döngüsel yapı tasarımına uygun veri modelinde yapıda yer alan mahallerin işlevlerinde yapılabilecek esneklikler, çok fonksiyonlu kullanımlar belirtilmelidir. Raylı sistem projelerine ait özellikler birden fazla hattın entegre olduğu yeraltı istasyonlarında tanımsız boş alanlar ortaya çıkabilmekte olup, bu alanların ticari birim, yedek oda gibi çeşitli kullanımlarda kullanılabilmesi ve fonksiyon değişikliğine açık olduğu modele işlenmelidir. Ayrıca döngüsel yapı tasarımına uygun veri modelinde yapının maliyeti, yapının ömrü, yapının yıkım/söküm maliyeti, yapının ömrünün tamamlanması maliyeti, yapı elemanlarının tiplerine göre yeniden kullanım, ileri dönüşüm gibi döngüsel ekonomi seviyelerine ait bilgiler, yapı elemanlarının birleşim detaylarının nasıl olduğu, birleşim detaylarının ayrıldığı veya söküldüğü durumlarında yeniden kullanılabilme bilgileri işlenmelidir. Ardından malzeme ölçeğine geçildiğinde malzeme pasaportları için gereken bilgiler modele işlenmelidir. Yapı malzemelerinin fiziksel özellikleri; boyut, yapısal özellikler, yapı fiziği ve dayanım özellikleri, görsel özellikler, kullanım süresi, geri dönüşüm ve yeniden kullanım potansiyeli, kimyasala özellikler; kimyasal içeriği, YDD çevresel etki değerlendirmesi, yaşam döngüsü maliyeti, sosyal YDD, sürece ait özellikler; ürün etiketleri ve sertifikaları, standart ve yönetmelikler, aktörler, mülkiyet bilgileri ve biyolojik özelliklere ait bilgiler pasaport için gereklidir [28]. Buna ek olarak, YBM modeli ile BuildingOne aracı kullanılarak elde edilen bir malzeme pasaportu çalışmasında, model 4 alt katmanda incelenmiştir; bunlar tasarım öncesi aşamasında karar vermeyi kolaylaştıran MPa, tasarım aşamasında optimizasyonu sağlayan MPb, ihale aşamasında ise malzeme birleşenlerinin değerlendirildiği MPC ve binanın sonuç pasaportu olan ikincil malzeme kadastro görevini üstlenen ve işletme aşamasında kullanılacak MPd'dir. Karar destek aracı amacı ile kullanılan MPa'da yapı elemanları ölçeğinde malzeme seçim kararına katkı sağlayan test yapılır, ardından MPb'de ise malzeme katmanlaşması ve boyut bilgileri ile seçilen malzemedeki optimizasyon sağlanır [29].

YBM Kullanımları ve Hedefleri Bölümünde diğer adım ise YBM'de Uniclass Sınıflandırılması ile hazırlanmış, alan ve hacim bilgilerini içeren modelin Bina Döngüsellik İndeksinin hesaplanması için Cir-BIM plug-ini kullanımı eklenmelidir. Bu veri setinde ürün listeleri, malzeme listeleri, hiyerarşik olarak sınıflandırılmış yapı elemanları listelerine ait çevresel etki bilgileri, kullanım süreleri, kullanım süresi iyileştirme seçenekleri bilgileri bulunmaktadır[31]. Bu işlem YBM Süreç Tasarımı Bölümünde iş akışı şemasına eklenmelidir. Yapılı çevrede döngüsel ekonomi ile entegrasyonunda YBM ile ele alınan konulardan bir diğeri ise Yaşam Döngüsü Değerlendirme (YDD, *Life Cycle Assessment – LCA*) yöntemidir. 2006 senesinde yayımlanan ISO 14040 standartına göre YDD yöntemi 4 aşamada gerçekleşir; amaç ve kapsamın belirlenmesi, yaşam

döngüsü endeksi, yaşam döngüsü etki değerlendirmesi ve yorumlama [31]. YBM ve YDD entegrasyonu YBM ortamından metraj bilgilerini içeren tablo dökümünün *Bill of Quantity (BOQ)* formatında YDD yazılımına aktararak YDD sonuç grafiklerinin üretilmesi ile sonuçlandırılır [32]. Bu aşama da döngüsellik analizinde olduğu gibi YBM Süreç Tasarımı bölümüne işlenmelidir. Burada önemli olan konu entegrasyonda kullanılacak YBM modelinin malzeme, birleşim detaylarının ve ebat bilgilerinin (örneğin duvar kalınlığı), yapısal elemanların doğru konumda ve hesaplanan ölçülerde ve boyutlarda olması gerektiğini açıklayarak, tasarımın erken aşamalarında doğru bir sonuç alınması için en uygun LOD seviyesinin LOD300 belirtilmektedir [31].

Roller ve Sorumluluklar Bölümüne ise döngüsel yapı tasarımına ait YBM Modelinden sorumlu bir paydaşın eklenmesi gerekmektedir. Döngüsel modelden sorumlu paydaşı “toplayıcı (harvester)” olarak nitelendirilmektedir; bu paydaş modelin doğruluğundan, döngüsellik açısından uygunluğundan ve işlenmesinden sorumludur [22].

Mevcut İBB Raylı Sistem Şartnamesi eki BUP ve model gereksinim tablosunda kesin proje aşamasında model geneli LOD seviyesi LOD300 olarak belirtilmiştir, bu doğrultuda kesin proje aşamasında YDD analizi yapılacaktır. Öte yandan YBM ortamında yürütülen, yapı malzemelerinin yenilenmesini, yeniden kullanımını ve geri dönüşümü için yenileme stratejilerini ortaya koyan bir yöntem çerçevesi hazırlayan bir çalışmada, YBM temelli döngüsellik analizi için YBM nesnelerin LOD200 seviyesinde modellendiği ve Classification System Database (Uniclass 2015) sınıflandırma sistemini kullanmıştır [33]. Bu durumda mevcut model gereksinim tablosuna göre ön proje aşamasında da döngüsellik analizi yapılabilecek ve bu doğrultuda yeni tasarım kararları alınabilecektir.

Yapım ve İşletmeye Yönelik Veri Gereksinimleri Bölümüne ise yapının inşaat, bakım, onarım ve yıkım süreçleri boyunca çevreye olan etkisini hesaplayan sonuç tasarımının YDD analiz sonuçlarının modele işlenmesi ve yapının malzeme envanteri olan MPd olarak nitelendirilen malzeme pasaportunun hazırlanması iş kalemleri eklenmelidir.

## 5. SONUÇ

Literatürdeki çalışmalar inşaat sektörünün doğal kaynakların kontrolsüz tüketimi ve atık oluşturma açısından birçok sektörden önde olduğunu vurgulamaktadır. Bu sorunun çözümü alışlagelmiş doğrusal ekonomiye ait üretim ve tüketim anlayışından uzaklaşmak ve kullanılan kaynak miktarının ve çıkartılan atık miktarının en aza indirildiği döngüsel ekonomiye dayalı üretim, bakım, onarım, yeniden kullanma anlayışını benimsemektir. Dijital teknoloji araçları mimarlık, mühendislik ve inşaat sektöründe döngüsel ekonomiye geçişin hızlanması ve kolaylığı açısından önemli bir etkiye sahiptir. Yapılan çalışmalarda yapay zekâ, CBS, dijital ikiz, büyük veri ve YBM gibi çeşitli dijital teknolojiler yapısal çevrede döngüsel ekonomi konusunda önemli araçlar olarak listelenmektedir.

Bu çalışma yapıları çevreye döngüsel ekonomi entegrasyonu YBM aracılığı ile sağlanması üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu kapsamda yapılan literatür taramasında yapıları çevrede döngüsel ekonomi ve YBM entegrasyonu üzerinde durulmuş ve BUP çerçevesinde bu entegrasyonun nasıl olması gerektiği çalışılmıştır. Ülkemizde raylı sistemler YBM kullanımında öncü bir sektördür ve raylı sistem projelerinde YBM kullanılması zorunludur. Çalışmada örnek olarak İBB Raylı Sistem

Dairesi Başkanlığı Tasarım Süreci BIM Uygulama Planı örneği ile ele alınmış, BUP'a hangi açılardan döngüsel yapı tasarımına değinilmesi gerektiği ortaya konmuştur.

Çalışma sonucunda elde edilen BUP altlığı ile literatüre ve raylı sistem projelerinde işveren kamu kurumlarına katkı sağlanacaktır. Gelecek çalışmalarda bu çalışma sonucunda elde edilen BUP ile projelendirme süreçleri denenebilir veya döngüsel ekonomi kriterleri raylı sistem projeleri ile nasıl entegre edileceği çalışılabilir.

## KAYNAKLAR

1. S. Çetin, C. De Wolf, N. Bocken, "Circular digital built environment: An emerging framework," Sustainability 13(11), 6348, (2021).
2. G.L.F. Benanchio, M. C. D. Freitas, S. F. Tavares, "Circular economy in the construction industry: A systematic literatüre review," Journal of Cleaner Production, 260, 121046, (2020).
3. ARUP, "The Circular Economy in the Built Environment" Available online: <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/circular-economy-in-the-built-environment> (Erişim tarihi: 14.01.2024).
4. M. Honic, I. Kovacic, G. Sibenik, H. Rechberger, "Data- and stakeholder management framework for the implementation of BIM-based Material Passports" Journal of Building Engineering, 23, (2019), 341-350. doi: 10.1016/j.jobe.2019.01.017
5. Ö. Çimen, "Construction and built environment in circular economy: A comprehensive literature review," Journal of Cleaner Production, 305, (2021). doi: 10.1016/j.jclepro.2021.127180
6. V. Göswein, S. Carvalho, A. Lorena, J. Fernandes, P. Ferrão, "Bridging the gap – A database tool for BIM-based circularity assessment," IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science SBE-Berlin, 1078, (2022).
7. M. Honic, I. Kovacic, P. Aschenbrenner, A. Regossnig, "Material Passports for the end-of-life stage of buildings: Challenges and potentials," Journal of Cleaner Production, 319, (2021). doi: 10.1016/j.jclepro.2021.128702
8. P. Hopkinson, H.M. Chen, K. Zhou, Y. Wang, D. Lam, "Recovery and reuse of structural products from end-of-life buildings," Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Engineering Sustainability. 172(3), (2018), pp:119–128. doi:10.1680/jensu.18.00007
9. E. Alasmari, A. AlJaber, P. Martinez-Vazquez, C. Baniotopoulos, "Enhancing life cycle costing (lcc) in circular construction of buildings by applying bim: a literature review." edited by L. Bragança, M. Cvetkovska, R. Askar, R., V. Ungureanu, Creating a Roadmap Towards Circularity in the Built Environment. Springer Tracts in Civil Engineering . Cham: Springer, (2024). doi:10.1007/978-3-031-45980-1\_33
10. Ellen MacArthur Foundation (EMF). "Towards the circular economy" Vol. 2: Opportunities For The Consumer Goods Sector, (2013)
11. M. Geissdoerfer, P. Savaget, N.M.P. Bocken, E.J. Hultink, "The circular economy e a new sustainability paradigm?" Journal of Cleaner Production, 143, (2017), pp:757-768. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.12.048
12. M. Braungart. W. McDonough, "Cradle to cradle: Remaking the way we make things." North Point Press: New York, (2002).
13. J. Kricherr, D. Reike, M. Hekkert, M. "Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions." Resources, Conservation and Recycling, 127, (2017), pp:221-232. doi:10.1016/j.resconrec.2017.09.005
14. Şenkal, "Mobilya endüstrisinde döngüsel ekonomiye geçiş: değerlendirme yaklaşımı." Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi, 6(2), (2023), pp: 146-161. doi: 10.33725/mamad.1316221
15. T.C. Ticaret Bakanlığı, "Yeşil mutabakat eylem planı 2021" (2021)

16. Sıfır Atık Yönetmeliği, T.C. Resmi Gazete, 30829, 12 Temmuz 2019.
17. M.U. Hossain, S. Thomas Ng, P. Antei-Afari, B. Amor, “Circular economy and the construction industry: Existing trends, challenges and prospective framework for sustainable construction”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 130, (2020).
18. E. Durmisevic, “WP3 reversible building design” BAMB Building As Material Banks, WP3|10|UT, (2018).
19. Í. Figueirôa, M.C. D. Freitas, S. F. Tavares, L. Bragança, “How circular economy strategies can be implemented in the dwelling renovation design phase” Chap.5 in *Creating a Roadmap Towards Circularity in the Built Environment*. edited by L. Bragança, M. Cvetkovska, R. Askar, V. Ungureanu, Springer Tracts in Civil Engineering . Springer, Cham. (2024), pp.1-33.
20. E. Durmisevic, “Reversible building design guideline.” edited by M. Charter, *Designing for the Circular Economy*. 1, (2019), pp.344-359. Retrieved from <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781315113067-32/reversible-building-design-elma-durmi%C5%A1evic%C2%B4>
- 21 A. Aguiar, R. Vonk, F. Kamp, “BIM and Circular Design,” IOP Conferences Series: Earth and Environmental Science 225, SBE19 Brussels - BAMB-CIRCPATH "Buildings as Material Banks - A Pathway For A Circular Future, February 5-7: Brussels, Belgium, (2019).
22. R. Charef, S. Emmitt, “Uses of Building Information Modelling for overcoming barriers to a circular economy.” *Journal of Cleaner Production*, 285 (2021), 124854. doi: [j.jclepro.2020.124854](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124854)
23. J. Messner, C. Anumba, C. Dubler, S. Goodman, C. Kasprzak, R. Kreider, R. Leicht, C. Saluja, N. Zikic, B”IM Project Execution Planning Guide, Version 2.2.” Computer Integrated Construction Research Program, The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA, (2019). Available at <http://bim.psu.edu>. Erişim: 26.12.2023
24. N. Panagiotidou, M. Pitt, Q. Lu, “ Building information modelling execution plans: a global review.” *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Smart Infrastructure and Construction*, 176(3), (2023), pp:126–147. doi: [10.1680/jsmic.22.00012](https://doi.org/10.1680/jsmic.22.00012)
25. J. J. McArthur, X. Sun, “Best practices for BIM Execution Plan development for a public–private partnership design-build-finance-operate-maintain project.” In *Building Information Modelling (BIM) in Design, Construction and Operations*, edited by L. Mahdjoubi, C.A. Breabbia & R. Laing, 149, Southhampton, Boston: WIT Press, (2015) pp.119-130. doi: [10.2495/BIM150111](https://doi.org/10.2495/BIM150111)
26. M.Honic, P.M. Magalhaes, P.V. Bosch, “From Data Templates to Material Passports and Digital Product Passports,” In *A Circular Built Environment in the Digital Age*, edited by C. De Wolf, S. Çetin & N. Bocken, Cham: Springer, (2024) pp: 79-97. Doi: [/10.1007/978-3-031-39675-5](https://doi.org/10.1007/978-3-031-39675-5)
27. url: <https://madaster.com/inspiration/engie-and-madaster-join-forces-to-combat-waste/> > Erişim tarihi: 10.02.2024
28. M. Heinrich, W. Lang, “Material passports - best practices,” Munich: Technical University of Munich in association with BAMB, (2019).
29. M. Honic, I. Kovacic, H. Rechberger, “Concept for a BIM-based Material Passport for buildings.” IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., 225, SBE19, February 5-7: Brussels, Belgium, (2019).
30. V. Göswain, S. Carvalho, A. Lorena, J. Fernandes, P. Ferrão, “Bridging the gap – A database tool for BIM-based circularity assessment,” IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., 1078, SBE22, Berlin, Germany, (2022). doi:[10.1088/1755-1315/1078/1/012099](https://doi.org/10.1088/1755-1315/1078/1/012099)
31. B. Soust-Verdaguer, C. Llatas, A. García-Martínez, “Critical review of bim-based LCA method to buildings,” *Energy and Buildings*, 136, (2017), pp:110-120.
32. L. Wastiels, R. Decuyper, “Identification and comparison of LCA-BIM integration strategies,” OP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., 323, SBE19, Graz, Austria, (2019), doi:[10.1088/1755-1315/323/1/012101](https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012101)
33. J.B. Fernandes, P. C. Ferrao, J. D. Silvestre, A. A. Costa, V. Göswain, “Advancing circular economy in the existing building stock: a methodology to support building characterisation for sustainable refurbishment design,” *Acta Polytechnica CTU Proceedings*, 38, (2022), pp:599-605, doi: [10.14311/APP.2022.38.0599](https://doi.org/10.14311/APP.2022.38.0599)



# CAMİLERİN TASARIM PARAMETRELERİNDE ISIL KONFOR VE ENERJİ TÜKETİM İLİŞKİSİ

Ahmet Bircan Atmaca<sup>1</sup>  
Gülay Zorer Gedik<sup>2</sup>  
YTÜ Mimarlık Bölümü, Yapı Fiziği Araştırma Grubu  
Beşiktaş, İstanbul, 34349

## ÖZET

*Camiler günün herhangi bir anında bireysel veya belirli zaman dilimlerinde topluca ibadet edilebilen dini yapılarıdır. Camilerin kullanım yoğunluğu ve kullanıcı türü günlere ve aylara bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle diğer bina türlerinden ısı konfor yönünden farklı değerlendirilmelidir. Cami gibi büyük hacim ve alana sahip binalarda homojen ısı konforunun sağlanması zor bir durumdur. Bu çalışmada ılıman nemli iklim tipinde camilerin ısı konfor koşulları sağlanırken enerji tüketiminin en az düzeyde olması için tasarım parametrelerine göre yapılan enerji simülasyonlarının sonuçları analiz edilmiştir. Camilerde ısı konfor koşulları sağlanırken yapı kabuğunda kullanılan yalıtım malzemesi kalınlığının optimum kalınlıkta olma durumu TS 825 yönetmeliğine göre incelenmiştir. Ayrıca plan şeması (kare, dikdörtgen, daire), büyüklüğü (küçük, orta, büyük) ve üst örtü türünün (tek kubbeli, birden fazla kubbeli, topuz ve düz form) enerji tüketimine etkisi incelenmiştir. Elde edilen bulgular mevcut ve tasarlanacak camilerin tasarımlarına katkı sağlaması beklenmektedir.*

*Anahtar sözcükler: Isı konfor, Enerji tüketimi, Cami, Ilıman Nemli İklim*

## ABSTRACT

*Mosques are religious buildings that can be worshiped individually at any time of the day or collectively at certain periods of time. The usage density of mosques and the type of users vary depending on the days and months. For this reason, it should be evaluated differently from other building types in terms of thermal comfort. It is difficult to ensure homogeneous thermal comfort in buildings with large volumes and areas, such as mosques. In this study, the results of energy simulations made according to design parameters were analyzed in order to minimize energy consumption while ensuring thermal comfort conditions of mosques in temperate humid climate. While providing thermal comfort conditions in mosques, the optimum thickness of the insulation material used in the building envelope was examined according to the TS 825 regulation. In addition, the effect of plan scheme (square, rectangle, circle), size (small, medium, large) and roof type (single dome, multiple domes, pyramidal and flat roof) on energy consumption was examined. The findings are expected to contribute to the designs of existing and future mosques.*

*Key words: Thermal comfort, Energy consumption, Mosque, Temperate humid climate*

<sup>1</sup> e-posta adresi: abatmaca@yildiz.edu.tr

<sup>2</sup> e-posta adresi: ggedik@yildiz.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Camiler, günün farklı saatlerinde aralıklarla kullanılan, kullanıcı yoğunluğu ve türü değişken birden çok insanın aynı anda veya farklı zamanlarda ibadet etmesine olanak sağlayan dini yapılardan biridir [1]. Bu binalarda yılın önemli ay (Ramazan) ve gecelerinde (Kandil geceleri) toplu ibadetler de yapılmaktadır. Camiler genellikle Cuma günü öğle vaktinde tam doluluk oranına ulaşmaktadır. Belirtilen nedenlerden dolayı camiler eşsiz bir kullanım programına sahiptir. Bu nedenle camilerin iç ortam konfor koşulları diğer bina tipolojilerinden ayrı değerlendirilmelidir.

Bu çalışmada camilerin ısı konfor koşulları sağlanırken enerji tüketiminin en az düzeyde olması için tasarım parametrelerine göre yapılan enerji simülasyonlarının sonuçları analiz edilmiştir. Camilerde ısı konfor koşulları sağlanırken yapı kabuğunda kullanılan yalıtım malzemesi kalınlığının optimum kalınlıkta olma durumu TS 825 yönetmeliğine göre incelenmiştir. Ayrıca plan şeması (kare, dikdörtgen, daire), büyüklüğü (küçük, orta, büyük) ve üst örtü türünün (tek kubbeli, birden fazla (çok) kubbeli, topuz ve düz (teras) çatı) enerji tüketimine etkisi incelenmiştir. Elde edilen bulgular mevcut ve tasarlanacak camilerin tasarımlarına katkı sağlaması beklenmektedir.

## 2. CAMİLERİN ISIL KONFOR ÖLÇÜTLERİ VE TASARIM PARAMETRELERİ

### 2.1. Camilerin Isıl Konfor Ölçütleri

Isıl konfor kişinin bulunduğu ortamdan ısı açıdan memnun olma halidir [2,3]. Isıl konfor bina kullanıcılarının sağlığını, çalışma verimini, psikolojik, fizyolojik ve biyolojik davranışlarını etkilemektedir. Ayrıca binalarda uygun ısı konfor koşulları için ısıtma ve soğutma ekipmanları kullanılmaktadır. Ve bunun için enerji tüketimi gerçekleşmektedir. Isıl konfor düzeyinin kabul edilebilir aralıkların dışında kalması ya kullanıcıların rahatsızlık hissetmesine ya da enerjinin gereksiz tüketimine neden olmaktadır.

Dini yapı türlerinden camiler birçok kişinin aynı anda ibadet etmesine olanak sağlayan büyük binalardır. Bu binalarda ısı konforu homojen bir şekilde kullanım programına göre sağlamak zor bir durumdur. Bu çalışmada uluslararası standartlarda belirtilen değerler simülasyonların değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Simülasyonlarda enerji tüketim karşılaştırılması camilerin ısı konfor düzeyinin kabul edilebilir aralıklarda olacak şekilde ayarlanması sonucunda devam edilmiştir. Çalışmadaki ısı konfor düzeyi karşılaştırmaları ISO 7730 – 2005 (the International Organization for Standardization 7730) ve ASHRAE 55 – 2017 (The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers 55) standartlarında kabul edilebilir ısı konfor aralığı – 0.5 < PMV (Tahmini ortalama oy – Predicted mean vote) < +0.5 ve PPD (Tahmini memnuniyetsizlik oranı – Predicted percentage of dissatisfied) < 10 olarak belirtilen değerler kabul edilmiştir [2,3]. Çizelge 1’de ısı konfor analizlerinde simülasyon programına girdi olarak tanıtılan parametreler gösterilmektedir.

Çizelge 1: Cami ısı konfor analiz girdileri

Parametre / Mevsim	Kış	Bahar	Yaz
Hava Hızı (m/sec)	0,15	0,15	0,15
Giysi Yalıtım Değeri (clo)	1,10	0,90	0,50
Aktivite Düzeyi (met)	1,3	1,3	1,3

## 2.2. Camilerin Yapı Kabuğu ve Tasarım Parametreleri

Çalışma kapsamında camilerin yapı kabuğu ve tasarım parametrelerinin ısı konfor ve enerji tüketimi açısından değerlendirilmesi için senaryolar Sketchup programında modellenmiştir [4]. Senaryoların enerji analizleri EnergyPlus tabanlı OpenStudio programı kullanılarak yapılmıştır [5]. Senaryolarda camilerin iç ortam ısı konforu yılın tüm gününde toplu ibadet vakitlerinde ve kullanılan diğer zamanlarda kabul edilebilir sınır değerler arasında kalmasına göre düzenlenmiştir. Diğer zamanlarda iklimlendirme sistemi belli bir düzeyde çalışır konumda bırakılmıştır.

Yapı kabuğunu oluşturan opak ve saydam alanların ortalama ısı iletkenlik direncinin artması ya da toplam ısı geçirme katsayısının düşmesi kabuktan ısı akışını azaltmaktadır. Bu durum iç ortamın ısı konfor düzeyinin korunması için kullanılan enerji tüketim miktarını etkilemektedir. Toplam ısı geçirme katsayısı, yapı kabuğunda bulunan malzemelerin kalınlıklarına ve ısı iletkenlik katsayısına bağlıdır. Türk Standartları (TS) 825 standardında belirtilen sınır değerler ve iyileştirilmiş değerler çalışma kapsamındaki senaryolarda ısı konfor ve enerji tüketimine etki açısından incelenmiştir [6,7]. Çizelge 2’de çalışma kapsamındaki senaryolarda dikkate alınacak yapı kabuğu kesitlerinin fiziksel özellikleri belirtilmektedir. Yapı kabuğunda kullanılan ısı yalıtım malzemesinin sadece kalınlığının değiştirilmesi sonucu kazanılan enerji miktarı araştırılmıştır. Bu nedenle duvar, çatı ve temelde ısı yalıtım malzemesinin 0’dan 20 cm kadar artırılması analiz edilmiştir.

**Çizelge 2:** Senaryolardaki yapı bileşeni kesitlerinin ısı iletkenlik katsayıları ve ısı yalıtım malzemesi kalınlık aralığı

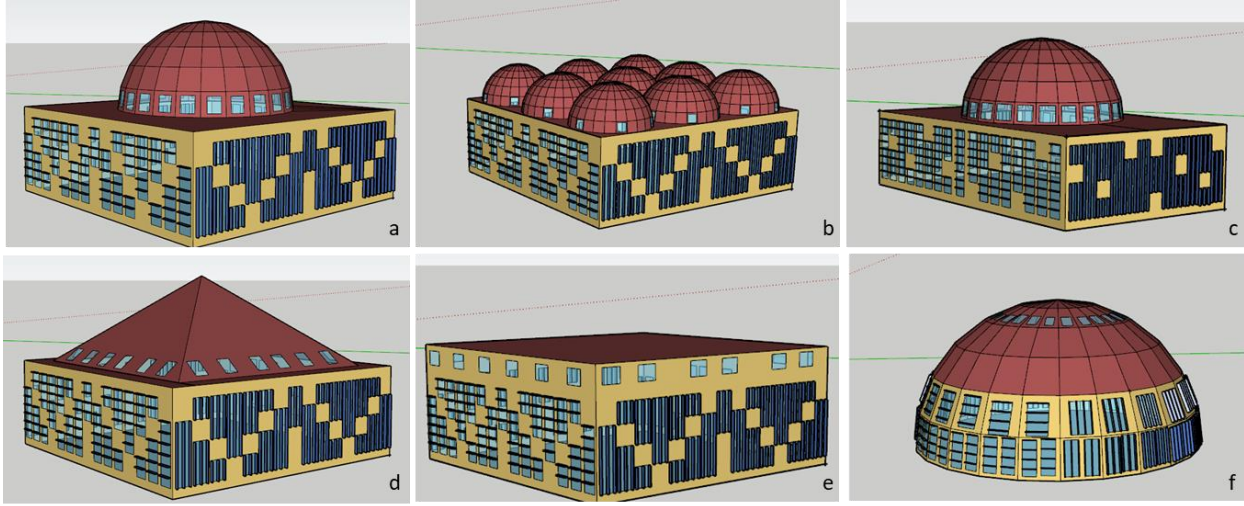
Yapı Bileşeni	Önerilen U Değeri (W/m <sup>2</sup> K)	TS 825 U Değeri (W/m <sup>2</sup> K)	Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)	Yalıtım Malzemesi Özgül Isısı (J/ kgK)	Yalıtım Malzemesi Yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	Yalıtım Malzemesi Kalınlığı (cm)
Duvar	0,30	0,60	0,034	1400	35	0-20
Çatı	0,30	0,60	0,034	1400	35	0-20
Döşeme	0,25	0,40	0,034	1400	35	0-19

Cami plan şemalarının büyüklüklerinin belirlenmesi ve sınıflandırılmasına yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Alan büyüklüğü, kullanıcı yoğunluğu ve yerleşim bölgesine göre gruplandırmalar yapılmaktadır. Onay tarafından hazırlanan çalışmada cami büyüklükleri ulu camiler için min. 750 m<sup>2</sup>, merkez camileri için min. 500 m<sup>2</sup>, çarşı camileri için min. 150 m<sup>2</sup> olarak belirtilmiştir [8]. Oral tarafından hazırlanan çalışmada belirtilen alan büyüklükleri A tipi 256 m<sup>2</sup> (orta büyüklükte cami), B tipi 400 m<sup>2</sup> (büyük cami), C tipi 729 m<sup>2</sup> (merkez cami) olarak yer almaktadır [9]. Bu çalışmadaki senaryolarda camilerin boyutlarına göre alan büyüklükleri küçük 256 m<sup>2</sup>, orta 576 m<sup>2</sup>, büyük 900 m<sup>2</sup> olarak sınıflandırılmıştır [10]. Çizelge 3’te senaryolarda kullanılan parametrelerin büyüklük özellikleri gösterilmektedir.

**Çizelge 3:** Senaryolarda kullanılan parametrelerin büyüklük özellikleri

Tür	Parametre	Alan (m <sup>2</sup> )	Hacim (m <sup>3</sup> )	Boyut (m)
Alan Türü	Büyük Ölçek	900	11094	30-30-10
	Orta Ölçek	576	5205.5	24-24-7.5
	Küçük Ölçek	256	1541.7	16-16-5
Plan Türü	Kare	900	11094	30-30-10
	Dikdörtgen	900	11094	25-36-10
	Daire	899.39	10145	r=16.92
Çatı Türü	Tek Kubbe	900	11094	30-30-10
	Çok Kubbe	900	11084	30-30-10
	Topuz Çatı	900	11083	30-30-10
	Teras Çatı	900	11088	30-30-12.32

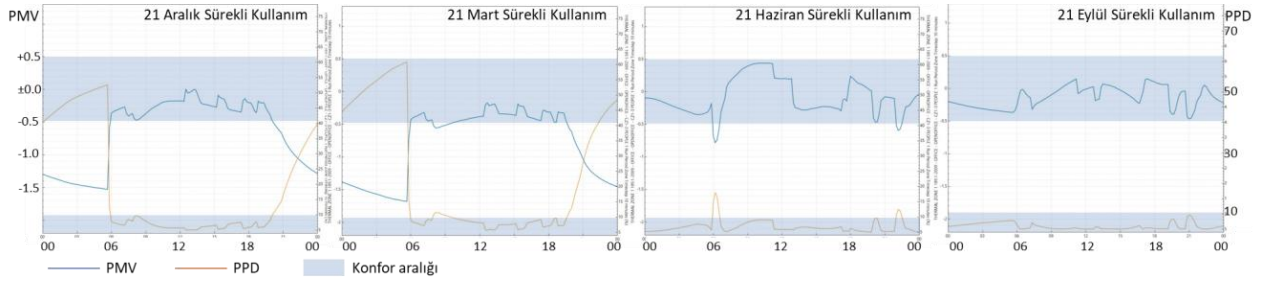
Günümüz teknolojisi ve gelişen yapım sistemi aracılığıyla farklı formlarda ve plan şemalarında camiler tasarlanabilmektedir. Geçmişte Osmanlı cami mimarisinin temel birimleri “kubbe-kare-küp” olmuştur [11]. Geçmişteki ve günümüzdeki cami plan şemaları incelendiğinde kare, dikdörtgen, dairesel, üçgen, çokgen, altıgen, sekizgen ve onikigen gibi tasarım örnekleri görülebilmektedir [12–14]. Çalışma kapsamında Kare - Dikdörtgen - Daire plan şemaları üzerinde ısı konfor ve enerji tüketimi senaryoları çalışılmıştır. Farklı kültür ve iklim türlerinde camilerin üst örtü biçimlerinde çeşitlilikler görülebilmektedir. Bu çalışmada tek kubbeli üst örtü, çok kubbeli üst örtü, topuz çatı ve düz çatı türleri simülasyon senaryolarında incelenmiştir. Oluşturulan senaryolar iklimlendirme türüne (HVAC-Heating Ventilation Air Conditioning) göre karşılaştırılmıştır. Günümüzde yaygın kullanılan sistemler (Fan coil sistem – FCS, radyatörlü sulu sistem – RS, toprak kaynaklı (yer merkezli) ısı pompası – GSHP, iklimlendirme sistemi – ACS, yerden ısıtma klimalarla soğutma sistem – FS) çalışmada tercih edilmiştir. **Şekil 1** enerji tüketim analizleri için oluşturulan cami senaryolarının görsellerini göstermektedir.



**Şekil 1:** Enerji tüketim analizleri için oluşturulan cami senaryoları (a; tek kubbeli kare planlı tasarım, b; çok kubbeli kare planlı tasarım, c; tek kubbeli dikdörtgen planlı tasarım, d; topuz çatılı kare planlı tasarım, e; teras çatılı kare planlı tasarım, f; daire tabanlı yarım küre tasarım)

### 3. CAMİ TASARIMLARININ ENERJİ TÜKETİM DÜZEYLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ

Cami tasarım senaryolarında kabul edilebilir ısı konfor düzeyi ibadet vakitlerine göre düzenlenmiştir. Toplu ibadet vakitlerinin dışında kalan zamanlarda caminin ısıtma soğutma sistemi belli bir düzeyde kalacak şekilde ayarlanmıştır. Ayrıca simülasyon sonuçlarının gösteriminde seçilen günler örnek olarak sunulmuştur. **Şekil 2**'de caminin özel günlere bağlı PMV-PPD düzeyi sonuçları gösterilmektedir. Camide kabul edilebilir ısı konfor düzeyinin sağlanarak minimum enerji tüketiminin gerçekleştirilmesi için koşullar oluşturulmuştur. Senaryolarda ısı konfor düzeyi, ibadet vakitlerinde kabul edilebilir sınırlar içinde kalmıştır. Caminin kapalı olduğu gece zaman diliminde belli bir sıcaklıkta tutulan iç ortam, kısmi kullanım zamanlarında ise  $+0,5 > PMV > -0,5$  ısı konfor düzeyi aralığında görülmektedir. Yılın diğer zaman dilimlerinde de cami genellikle **Şekil 2**'de belirtilen konfor düzeyindedir.



Şekil 2: Örnek günler için cami senaryolarının ısı konfor düzeyi

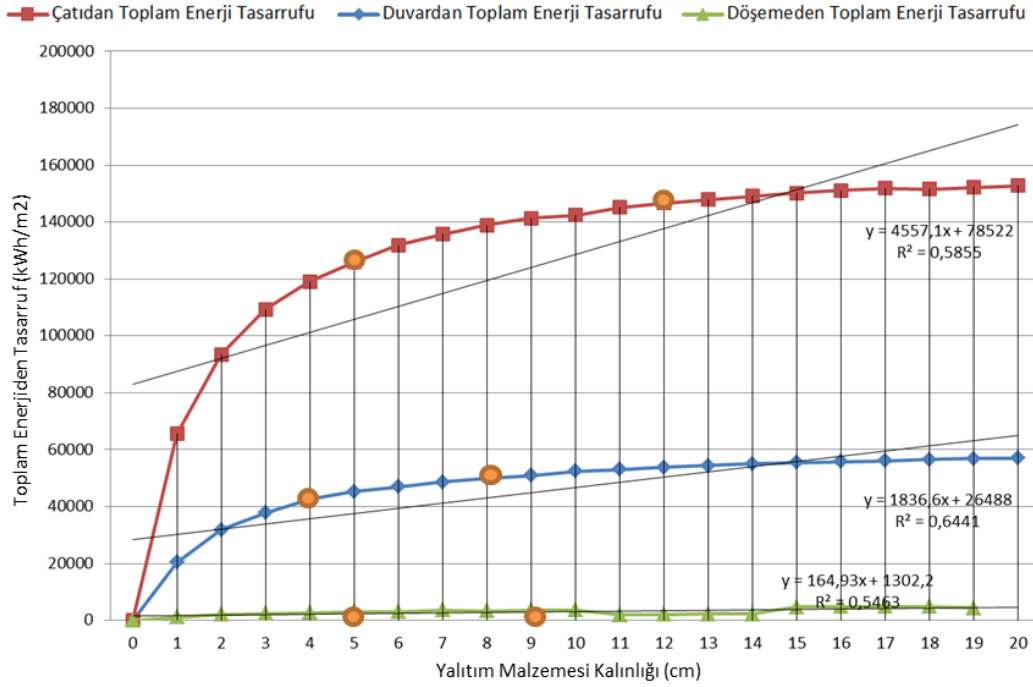
### 3.1. Yapı Kabuğu Isı Yalıtım Malzemesi Özelliklerinin Etkisi

Yapı kabuğu bileşenlerinin tasarım kriterlerinin belirlenmesi ile birlikte, iç ortam ısı konfor sağlanırken cami yapı kabuğunda kullanılacak ısı yalıtım malzemesi kalınlığının enerji tüketimine etkisi incelenmiştir. Çizelge 4’de ısı yalıtım malzemesi kalınlıklarının ısı konfor sağlanırken enerji tüketimine etkisi incelenmiştir. Tabloda yeşil renk ile belirtilen satırlar, senaryolarda kullanılan TS 825 değerlerine yakın ve önerilen U değerlerini göstermektedir.

Çizelge 4: Yapı kabuğu bileşenlerinde Isı yalıtım malzemesi kalınlıkları etkisi

Kalınlık Aralığı (cm)	U Value (W/m <sup>2</sup> K)	Duvardan Enerji Tasarrufu (kWh)			U Value (W/m <sup>2</sup> K)	Çatıdan Enerji Tasarrufu (kWh)			U Value (W/m <sup>2</sup> K)	Döşemeden Enerji Tasarrufu (kWh)		
		Toplam	Isıtma	Soğutma		Toplam	Isıtma	Soğutma		Toplam	Isıtma	Soğutma
0	1.69	0	0	0	2.49	0	0	0	0.83	0	0	0
1	1.13	20,329	20,603	493	1.44	65,527	65,774	1,039	0.67	1,227	2,463	1,105
2	0.85	31,833	32,309	809	1.01	93,435	93,997	1,698	0.56	2,030	4,089	1,859
3	0.68	37,858	38,406	958	0.78	109,307	110,127	2,169	0.48	2,357	5,069	2,443
4	0.57	42,461	43,112	1,114	0.63	119,008	119,960	2,429	0.42	2,648	5,814	2,848
5	0.49	45,253	45,965	1,210	0.53	125,957	126,985	2,598	0.37	2,969	326,298	36,877
6	0.42	46,932	47,622	1,216	0.46	131,902	133,068	2,812	0.34	3,033	326,071	37,040
7	0.38	48,577	49,312	1,277	0.41	135,658	136,877	2,914	0.31	3,562	7,570	3,615
8	0.34	49,946	50,702	1,316	0.36	138,863	140,126	3,003	0.28	3,385	7,493	3,703
9	0.31	50,965	51,746	1,352	0.33	141,281	142,605	3,089	0.26	3,559	7,798	3,825
10	0.28	52,397	53,250	1,438	0.30	142,364	143,649	3,072	0.24	3,706	8,077	3,944
11	0.26	53,098	53,973	1,468	0.28	145,093	146,483	3,202	0.23	1,961	6,629	4,191
12	0.24	53,763	54,652	1,490	0.25	146,624	148,029	3,244	0.21	2,108	6,859	4,269
13	0.23	54,392	55,309	1,529	0.24	147,910	149,342	3,282	0.20	2,210	7,047	4,346
14	0.21	55,009	55,929	1,535	0.22	149,104	150,555	3,321	0.19	2,246	7,163	4,418
15	0.20	55,422	56,353	1,551	0.21	150,131	151,610	3,357	0.18	4,737	9,557	4,352
16	0.19	55,810	56,749	1,565	0.20	151,043	152,538	3,388	0.17	4,792	9,673	4,407
17	0.18	56,151	57,095	1,576	0.19	151,882	153,394	3,415	0.16	4,828	9,767	4,460
18	0.17	56,472	57,425	1,587	0.18	151,616	153,062	3,354	0.15	4,881	9,870	4,504
19	0.16	56,802	57,757	1,593	0.17	152,223	153,680	3,374	0.15	4,438	9,501	4,573
20	0.15	57,029	57,987	1,601	0.16	152,724	154,198	3,393				

Şekil 3’de ısı yalıtım malzemesinin kalınlığının artırılması sonucu tasarruf edilen enerji miktarı eğrileri gösterilmektedir. Senaryolar ısı yalıtım malzemesinin bir yapı kabuğu bileşeninde uygulanması ve diğer yapı bileşenlerinde uygulanmaması ilkesine göre oluşturulmuştur. Isı yalıtım malzemesinin duvar ve çatı yüzeyinde 0’den 20 cm’ye kadar artırılma eğrilerinde belli bir kalınlıktan sonra eğrinin artış eğiminin düştüğü görülmektedir. Temelde yapılan ısı yalıtım iyileştirmeleri ise yatayda doğrusal ilerlemektedir. Bununla birlikte, cami gibi büyük bir hacme sahip yapıların çatı-kubbe organizasyonunda yapılacak ısı iyileştirmeler enerji tasarrufunun sağlanmasında duvar ve temele göre daha fazla katkı sağlamıştır.



Şekil 3: Isı Yalıtım Kalınlığının artırılması ile Tasarruf edilen enerji miktarı

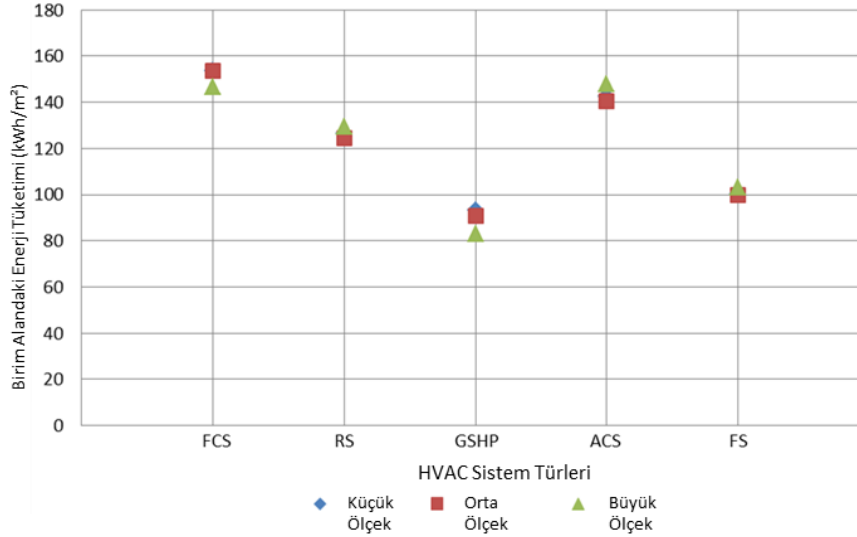
### 3.2. Camilerin Alan, Plan ve Çatı Özelliklerine Göre İklimlendirme Sistemlerinin Enerji Tüketim Karşılaştırması

Çalışma kapsamında mevcut ve tasarımda en çok tercih edilen basit plan türlerinden kare, dikdörtgen ve daire tabanlı plan şemalarının HVAC sistem türlerine göre enerji tüketim miktarları analiz edilmiştir. Ayrıca üst örtü türünün enerji tüketimine etkisini incelemek için tek kubbeli, çok kubbeli, topuz çatı ve düz çatı türlerine göre analizler yapılmıştır. Senaryolarda alan ve hacim büyüklükleri birbirlerine eşit-benzer olacak şekilde düzenlenmiştir. Değerlendirmeler birim alan üzerinden yapılmıştır. Aynı zamanda çalışma kapsamında plan türü, alan büyüklüğü ve çatı örtüsüne uygun HVAC sistemi belirlemek için beş farklı sisteme göre enerji tüketim düzeyi karşılaştırılmaları yapılmıştır. Çizelge 5 tasarım kriterlerine ve iklimlendirme sistem türlerine göre birim alan enerji tüketim miktarlarını göstermektedir.

Çizelge 5: Tasarım ölçütleri ve iklimlendirme sistemlerine göre birim alandaki enerji tüketimi

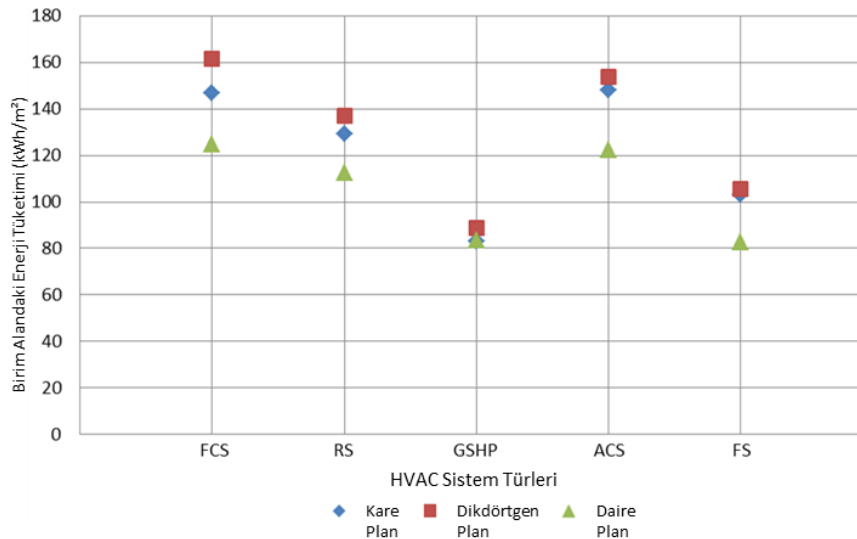
Tasarım Ölçütleri		FCS (kWh/m <sup>2</sup> )	RS (kWh/m <sup>2</sup> )	GSHP (kWh/m <sup>2</sup> )	ACS (kWh/m <sup>2</sup> )	FS (kWh/m <sup>2</sup> )
Plan Türü	Kare	146.66	129.19	82.90	148.02	103.01
	Dikdörtgen	161.55	136.89	88.71	153.66	105.50
	Daire	124.73	112.53	83.39	122.21	82.47
Alan Türü	Küçük Ölçek	153.48	126.54	93.39	142.38	100.15
	Orta Ölçek	153.57	124.59	90.74	140.61	99.87
	Büyük Ölçek	146.66	129.19	82.89	148.01	103.00
Çatı Türü	Tek Kubbe	146.66	129.19	82.89	148.01	103.00
	Çok Kubbe	182.12	138.01	84.77	158.91	112.46
	Topuz Çatı	157.37	131.15	85.43	147.87	100.04
	Teras Çatı	163.02	128.45	82.31	146.70	103.20

**Şekil 4** camilerin alan büyüklüklerine göre HVAC sistem türlerinin birim alan enerji tüketim miktarlarını göstermektedir. Bu senaryolarda kare plan şeması, tek kubbe üst örtüsü sabit tasarım kriterleri olarak belirlenmiştir. Senaryolarda birim alan enerji tüketimi en az GSHP ve FS sisteminde görülmektedir. En fazla enerji tüketimi FCS ve ACS sistemlerinde görülmektedir. HVAC sistem türlerine göre alan büyüklüklerinin birim alan enerji tüketimleri değişkenlik göstermektedir.



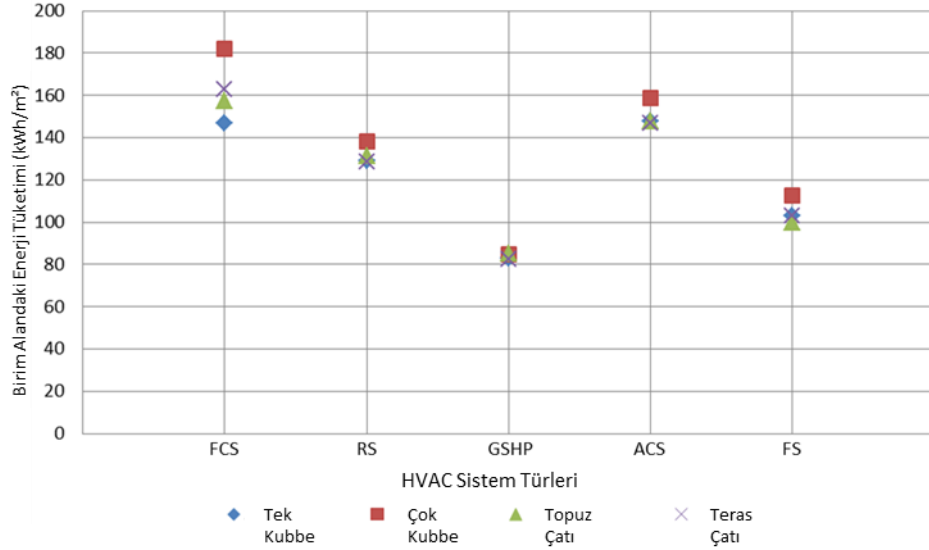
**Şekil 4:** Plan Boyutlarına göre HVAC sistem türlerinin birim alan enerji tüketimleri

**Şekil 5** cami plan şemalarına göre HVAC sistem türlerinin birim alan enerji tüketimlerini göstermektedir. Bu senaryolarda camilerin kare ve dikdörtgen plan şemalarında büyük ölçek ve üst örtü tek kubbe olacak şekilde sabit tutulmuştur. Daire plan şeması yarım küre formundadır. Daire plan şeması da büyük ölçektedir. HVAC sistem türlerine göre birim alan enerji tüketim genellikle daire plan şemasında en az düzeyde görülebilmektedir. En fazla enerji tüketimi dikdörtgen plan şemasındadır. Dikdörtgen plan şemasının güneydoğu - kuzeybatı doğrultusunda konumlanması caminin hem soğutma yükünün artmasına hem de ısıtma yükünün artmasına neden olmuştur.



**Şekil 5:** Plan Şemasına türüne göre HVAC sistem türlerinin birim alan enerji tüketimleri

**Şekil 6** camilerin üst örtü formuna göre HVAC sistem türlerinin birim alan enerji tüketim düzeylerini göstermektedir. Kare plan şeması, büyük ölçekli tasarım parametreleri sabit bırakılmıştır. Dört farklı üst örtü türü ve beş farklı HVAC sistem türünün ilişkisi incelenmiştir. Üstü örtü türlerine göre en çok birim alan enerji tüketimi genellikle çok kubbeli tasarımda olmuştur. Diğer üst örtü türleri arasında HVAC sistem türüne göre değişkenlikler görülmektedir.



**Şekil 6:** Camilerin üst örtü türüne göre HVAC sistem türlerinin birim alan enerji tüketimleri

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada camilerde kabul edilebilir ısı konfor düzeyi sağlanırken enerji tüketiminin en az düzeyde olması için yapı kabuğunun ısı özelliklerinin enerji tüketimine etkisi incelenmiştir. Ayrıca HVAC sistem türüne göre camilerin plan türü, alan büyüklüğü ve üst örtünün türü parametrelerinin enerji tüketimine etkisi incelenmiştir. Çalışma kapsamında ılıman nemli iklim türü örneği için yapılan analizlerde yeni tasarlanacak ve kullandıkları camiler için tasarım önerileri belirlenmiştir.

- Camilerin duvar, çatı, temel ve pencerelerinde ısı yalıtım malzemesinin optimum düzeyde kullanılması önemlidir. Temelde kullanılan ısı yalıtım malzemesi kalınlık artışı yataya paralel (**Şekil 3**) bir etkiye sahiptir.
- Isı yalıtım malzemesi kullanılması ve kalınlık artışı enerji tasarrufu açısından en fazla çatı-kubbede kullanılması ile olumlu etki (**Çizelge 4** ve **Şekil 3**) yapmıştır. Büyük alanlı ve büyük hacimli cami gibi yapılarda, ısınan havanın iç ortamda üst örtüden kaçışının engellenmesi ile enerji tüketiminden en fazla tasarruf sağlanmıştır.
- Yapı kabuğunda kullanılan ısı yalıtım malzemesinin kalınlığının sürekli artırılması enerji tasarrufu açısından olumlu katkı sağlamıştır. Ancak belli bir kalınlıktan sonra enerji tasarrufuna katkı artış oranı düşmüştür.
- Cami senaryolarının tasarımında HVAC sistem türlerine göre enerji tüketim miktarı değişkenlik göstermektedir. Ancak genellikle RS, FS ve GSHP sistemler birim alanda en düşük enerji tüketiminin olduğu HVAC sistemleridir. FCS ve ACS sistemler ise birim alandaki enerji tüketiminin en fazla olduğu sistemlerdir (**Şekil 4-5-6**).



- Işınımsal yolla ortamın ısıtılması fan sistemli ekipmanlara göre daha az enerji tüketimine neden olmuştur.
- Tek kubbeli, çok kubbeli, topuz çatılı ve düz çatılı üst örtü türlerine göre en çok birim alan enerji tüketimi genellikle çok kubbeli tasarımda (**Şekil 6**) olmuştur.
- Alan büyüklüklerine göre HVAC sistemlerin max. – min. enerji tüketiminde değişkenlik söz konusudur.

## KAYNAKLAR

1. H. Mohamed Kamar, N.B. Kamsah, F.A. Ghaleb, M. Idrus Alhamid, Enhancement of thermal comfort in a large space building, *Alexandria Eng. J.* 58 (2019) 49–65. <https://doi.org/10.1016/J.AEJ.2018.12.011>.
2. ISO 7730, ISO 7730: Ergonomics of the thermal environment Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, 2005, 2005.
3. ASHRAE 55, Thermal environmental conditions for human occupancy, ANSI/ASHRAE Stand. - 55. 7 (2017).
4. SketchUp 3D Modeling Software, (n.d.). <https://www.sketchup.com/plans-and-pricing/sketchup-free> (accessed February 6, 2023).
5. OpenStudio. <http://openstudio.net/> (accessed February 6, 2023).
6. TS 825, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, 2013.
7. A.B. Atmaca, G. Zorer Gedik, A. Wagner, Determination of optimum envelope of religious buildings in terms of thermal comfort and energy consumption: Mosque cases, *Energies*. 14 (2021). <https://doi.org/10.3390/en14206597>.
8. A. Onay, A Study on the Grouping and Classification of Mosques in Turkey and Determining the Needs of Officer, *J. Sak. Univ. Fac. Theol.* 16 (2007) 77–121.
9. M. Oral, In the perspective of republican period the problem of identity and aesthetics quality on the recent mosque architecture -The case of Konya-, Selcuk University, 2006.
10. A.B. Atmaca, G. Zorer Gedik, Development of energy efficient design proposals for air conditioned mosques: Temperate humid climate case, *Heliyon*. 9 (2023) e20992. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20992>.
11. N. Akbulut, A. Erarslan, Innovative approaches in the architectural design of contemporary mosques in Turkey, *J. Istanbul Aydin Univ.* 9 (2017) 33–59. <https://doi.org/10.17932/IAU.IAUD.13091352.2017.9/35.33-59>.
12. A.B. Atmaca, G. Zorer Gedik, Investigation of Passive Design Criteria in terms of Thermal Comfort and Energy Consumption for Mosques: Istanbul Case, *6th Int. Conf. Contemp. Aff. Archit. Urban.*, Municipality of Alanya, Istanbul, 2023: p. 26. <https://doi.org/978-605-71006-7-2>.
13. F.Z. Sarihan, An approach related shape-form in perception of mosque image in Turkish architecture, Fatih Sultan Mehmet Vakıf University, 2015.
14. N. Duysak, The architecture of the 20th century, mosques in Turkey and traditional mosques throughout the Islamic world, Istanbul Technial University, 2000.

# HACİM AKUSTİĞİ PARAMETRELERİNİN OPTİMUM DEĞERLERİNDE İŞİTSEL DUYARLILIK AYRIMLARININ ETKİSİ

Hazal Şentürk<sup>1</sup>

Neşe Yüğrük Akdağ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fenerbahçe Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü

<sup>2</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü

## ÖZET

*Yaşa bağlı olarak işitme eşiğinin yükselmesi; konuşmanın anlaşılabilirliğinde çeşitli sorunlara neden olmakta ve kişilerin yaşam kalitesini düşürmektedir. Günümüzde tiyatro salonu, konferans salonu gibi konuşma amaçlı hacimler ile, konser salonu gibi müzik amaçlı hacimlerin tasarımı genellikle genç bireylerin işitsel duyarlılığı referans alınarak oluşturulan ölçütlere göre yapılmaktadır. Akustik koşulların bu ölçütler aracılığıyla belirlendiği bir hacimde, özellikle belirli yaşın üzerindeki dinleyiciler için konuşmanın anlaşılabilirliği yeterince sağlanamayacağından, hacmin akustik yetkinliğinden söz etmek mümkün olmayacaktır. Çalışmanın amacı farklı işitsel hassasiyetlere sahip dinleyiciler için akustik konfor sağlayan konferans salonlarının akustik tasarım kriterlerini belirlemektir. Bu kapsamda yapılan değerlendirmeler için üç farklı yaş grubu (25, 50 ve 75 yaş) seçilmiştir. Seslendirme sistemi olmadığı varsayılan farklı büyüklükteki üç adet konferans salonu (1000, 3000 ve 5000 m<sup>3</sup>) akustik simülasyon programı ile modellenmiş ve salonların çeşitli yerlerine yerleştirilen alıcı noktaları için hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplama sonuçları dinleme testi ve kısa bir anketle desteklenmiştir. Örnek olarak seçilen, 3000 m<sup>3</sup> hacmindeki salonun yaklaşık olarak ortasında yer alan bir alıcı noktası için dinleme testi çalışmalarının tamamlanmasının ardından elde edilen veriler bir istatistik programında değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler ışığında; çalışma kapsamında kullanılan yaklaşımın tüm yaş grupları için yeterli işitsel konforu sağlayacak konferans salonlarının tasarımına katkı sağlaması beklenmektedir.*

*Anahtar sözcükler: Hacim Akustiği, İşitsel Konfor, İşitsel Duyarlılık Ayrımları, Konuşma Amaçlı Salonlar*

## ABSTRACT

*Effect of Auditory Sensitivity Distinctions on Optimal Values of Room Acoustics Parameters. The aim of the study is to determine the acoustic design criteria of conference halls that provide acoustic comfort for listeners with different auditory sensitivities. In this context, assessments were conducted on three distinct age groups: 25, 50 and 75 years. An acoustic simulation tool was used to model three conference rooms with varying capacities (1000, 3000, and 5000 m<sup>3</sup>). It was assumed that the halls didn't have a public address system, and calculations were made for the receiver points located in different areas of the halls. The calculation results were supported by a listening test and a short survey. 3000 m<sup>3</sup> sized hall was selected as an example, and the data were assessed in a statistical software following the completion of the listening test investigations for a receiver point approximately in the center of the hall. In the light of these evaluations; It is expected that the approach used within the scope of the study will contribute to the design of conference halls that will provide adequate auditory comfort for all age groups.*

*Key words: Room Acoustics, Auditory Comfort, Auditory Sensitivity Distinctions, Conference Halls*

<sup>1</sup> e-posta adresi: hazal.senturk@fbu.edu.tr

<sup>2</sup> e-posta adresi: nakdag@yildiz.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Günümüzde dünya nüfusu hızla yaşlanmaktadır, 60 yaş ve üzeri nüfusun 2050 yılına kadar ikiye katlanarak dünya nüfusunun yaklaşık %22'sine ulaşması beklenmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre ülkemizde de 65 yaş ve üzeri nüfusun oranı gittikçe artmaktadır [1]. Bireyler yaşlandıkça yaşa bağlı işitme kaybı (presbiakuzi) de dahil olmak üzere işitsel algılarında değişimler yaşanmaktadır. Yaşa bağlı işitme kaybı koklea içindeki yüksek frekanslı sesleri algılamaktan sorumlu olan hassas tüy hücrelerinin dejenerasyona veya hasara uğraması ile zaman içerisinde kademeli olarak gelişmekte ve kişilerin belirli frekanslardaki sesleri duyma ve konuşmayı anlama kapasitelerinde azalmaya yol açmaktadır [2]. Bu durum yaşlı yetişkinleri (özellikle erkekler) etkileyen en yaygın kronik rahatsızlıklardan biridir ve 65 yaş üzeri kişilerin yaklaşık üçte birinde çeşitli derecelerde işitme kaybı görülmektedir. Konuşmayı anlamada yaşanan güçlükler sosyal etkileşimleri etkileyebilmekte, kişilerin iletişim zorlukları nedeniyle sosyal aktivitelerden uzaklaşmasına ve gürültülü ortamlardan kaçınmasına neden olmaktadır [3]. Bu nedenle özellikle konuşma amaçlı hacimlerin tasarımında yaşlı dinleyiciler de dahil olmak üzere tüm potansiyel kullanıcıların ihtiyaçlarının dikkate alınması önem kazanmaktadır. Bu kapsamda çalışmada akademik konferanslar, seminerler, kültürel etkinlikler gibi çeşitli aktivitelere ev sahipliği yapan konferans salonları değerlendirmeye alınmıştır. Akustik tasarım, konferans salonlarının yaşa bağlı işitme kaybı olan kişiler için erişilebilir ve uygun olmasını sağlamada kritik bir rol oynamaktadır. Özellikle seslendirme sistemi olmayan konferans salonlarında genç kulağın işitsel duyarlılığına göre yapılan akustik tasarım nedeniyle yaşlı dinleyiciler işitme güçlüğü çekmektedir. Bu nedenle konferans salonlarında tüm dinleyiciler için uygun olabilecek akustik parametreleri sağlamak için bir optimizasyon yapılması önemlidir.

## 2. YÖNTEM

### 2.1. Yöntemin Genel Açıklaması

Mevcut çalışmanın esas aldığı yaklaşım, hacim akustiği etkenlerinin, yeterli anlaşılabilirlik açısından kulağın duyarlılık değişimlerinin de göz önüne alınarak incelenmesi ve gerekli koşulların belirlenmesidir. Farklı yansım süresi koşullarında normal işiten genç dinleyiciler ile işitme güçlüğü yaşayan yaşlı dinleyiciler açısından anlaşılabilirlik değerleri araştırılmıştır. Bu kapsamda yapılan değerlendirmeler için üç farklı yaş grubu seçilmiştir (gençler, orta yaşlılar ve yaşlılar için sırasıyla 25 yaş, 50 yaş ve 75 yaş grupları). Daha sonra dikdörtgen planlı üç adet konferans salonu (1000, 3000 ve 5000 m<sup>3</sup> hacminde) Odeon simülasyon programında modellenmiş ve farklı alıcı noktaları için hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen objektif akustik parametreler (ses düzeyi, konuşmanın anlaşılabilirliği vb.) belirli yaşın üzerindeki kişiler açısından konuşmayı anlamak için gerekli olan ses düzeylerini ve anlaşılabilirlik değerlerini belirleyen literatür araştırması ve standartlar ile karşılaştırılmıştır (**Çizelge 1**). Çalışmada incelenen hacimler için literatürde verilen yansım sürelerinin (DIN standardı) [4] uygulanmasıyla elde edilen anlaşılabilirlik değerlerinin özellikle 65 yaş üzeri dinleyiciler için yetersiz olabileceği öngörülmüştür. Farklı yaş gruplarındaki dinleyicilerin işitsel duyarlılık ayrımları göz önüne alınarak yansım sürelerinde bir düzenleme yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

**Çizelge 1:** Konuşma amaçlı salonlarda genç kulak için sağlanması gereken optimum koşullar ([5],[6],[7],[8])

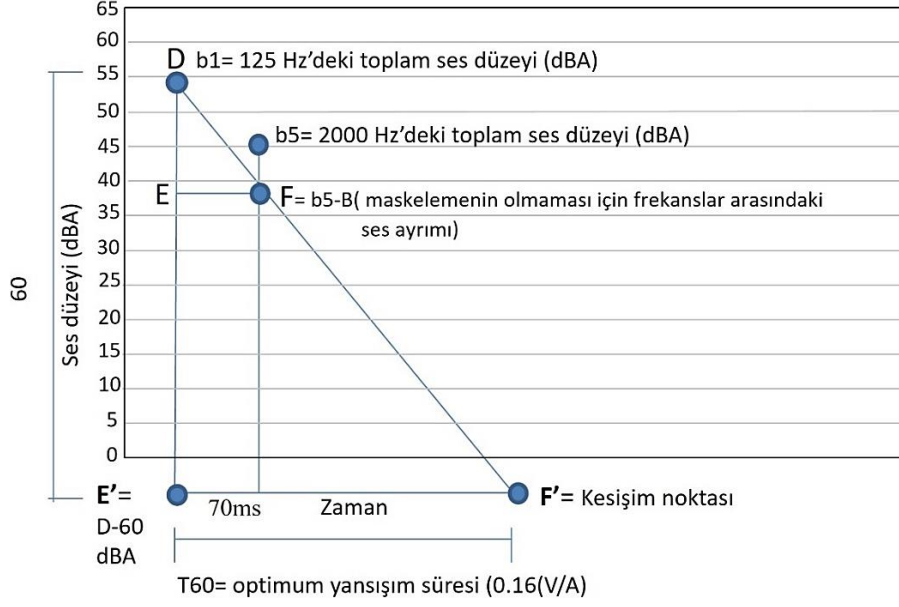
Ses Düzeyi	STI	D50	SNR	Topt(s)		Arka plan gürültüsü
Dolaysız: 50 dBA Toplam: 60-65 dBA	0,60-0,75 aralığı	0,50-0,65 aralığı	10-15 dB aralığı	V: 1000 m <sup>3</sup>	0,79s	NC 25 eğrisi
				3000 m <sup>3</sup>	0,94s	
				5000 m <sup>3</sup>	1,01s	

## 2.2. Yeterli Anlaşılabilirlik Değerlerinin Sağlanabilmesi İçin Oluşturulan Yaklaşım

Yaşa bağlı işitme kaybında ilk olarak yüksek frekanslardaki seslerin duyulması güçleştiğinden belli frekansların dinleyiciye iletilmesi önem kazanmaktadır. Literatürde konuşmanın anlaşılabilirliğinde yüksek frekansların önem kazandığına dair çeşitli araştırmalar bulunmaktadır. Özellikle 2000 Hz frekansında bu durumun arttığı gözlemlenmektedir [9]. Konuşmanın içerisinde yer alan alçak frekanslı sesler yüksek frekansları maskeleyerek anlaşılabilirlikte düşümlere yol açmaktadır. Aynı zamanda konuşma içerisinde sesli harflerin gücünün daha fazla olduğu görülmektedir ve bu durum da maskelemeye yol açabilmektedir. Bu nedenle 2000 Hz frekansındaki seslerin maskelenmesini engelleyebilmek için gereken optimum yansıma sürelerinin belirlenmesi amacıyla çalışmalar gerçekleştirilmiştir [10]. Konuşmada bir sesin kendinden önce gelen sesler tarafından maskelenmemesi için ses düzeyleri arasında belli ayrımlar bulunması gerekmektedir. Çalışmada bu ayrımların belirlenebilmesi için konuşma düzeyi-fon gürültüsü ilişkisinden yararlanılmaktadır. Yapılan araştırmalara göre normal işiten genç dinleyiciler için yeterli anlaşılabilirliğin sağlanabilmesi açısından dolaysız ses-fon gürültüsü ayrımının 0 dBA olması gerekmektedir. Buna göre örneğin 40 dBA fon gürültüsü mevcut olduğunda anlaşılabilirliğin sağlanması için en az 40 dBA konuşma düzeyine gereksinim duyulmaktadır. Buna göre 40 dBA düzeyindeki fon gürültüsünün ve aynı düzeydeki konuşmanın frekansa bağlı dağılımları dikkate alınarak 2000 Hz frekanslı sesin 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz ve 2000 Hz frekanslı sesler tarafından maskelenmemesi için bulunması gereken ses düzeyi ayrımları belirlenmiştir. Daha sonra ise maskeleme etkisinin olmaması için gereken optimum yansıma sürelerini belirlemek amacıyla aşağıda görülen ilişki kurulmuştur. Denklem grafişel gösterimi Şekil 1'de yer almaktadır.

$$60/t_{60}=b(1,2,3,4,5)-(b_5-B)/0.070 \quad (1)$$

**60**; yansıma süresi hesaplamalarında kullanılan, ses basınç düzeyindeki düşüş değerini,  
**t<sub>60</sub>**; maskelemenin incelendiği frekanstaki yansıma süresini (saniye cinsinden),  
**b(1,2,3,4,5)**; sırasıyla 125, 250, 500, 1000 ve 2000 Hz'deki toplam ses düzeylerini (dBA cinsinden),  
**B**; maskelemenin olmaması için frekanslar arasında bulunması gereken ses düzeyi ayrımını ifade etmektedir.  
**0.070** ise milisaniye cinsinden seslerin birbirini izleme aralığıdır.



**Şekil 1:** Optimum yansıma sürelerinin belirlenmesinde kullanılan grafik

Çalışmada farklı yaş grupları incelendiğinden eşitlikte yer alan toplam ses düzeyleri işitme eşiklerindeki düşüşlere göre düzenlenmiştir. İşitsel duyarlılık ayrımları bireylerin çeşitli frekanslardaki ve düzeylerdeki sesleri algılama ve ayırt etme yeteneğini ifade eder. Yaşa ve cinsiyete göre belirlenen işitsel duyarlılık ayrımları ISO 7019: 2017 nolu standartta yer almaktadır [11]. Çalışma kapsamında standartta yer alan değerlerden yararlanılarak 25, 50, 75 yaş grubundaki dinleyiciler için farklı yansıma süreleri elde edilmiştir. Geliştirilen bu yansıma süreleri Odeon hacim akustiği simülasyon programında oluşturulan hacme uygulanarak elde edilen anlaşılabilirlik değerleri incelenmiştir. Tüm yaş grupları için anlaşılabilirlik değerlerinde artış sağlanmıştır. Araştırmanın desteklenmesi için bir dinleme testi ve anket çalışması gerçekleştirilmiştir.

### 3. DİNLEME TESTİ ÇALIŞMASI

#### 3.1. Dinleme Testi ve Anketin Uygulanması

Simülasyon programıyla elde edilen nesnel verilerin öznel veriler ile karşılaştırılması amacıyla gerçekleştirilen dinleme testine 82 kişi katılmıştır. Çalışmada incelenen tüm salonların değerlendirilmesi çok güç olacağından genel bir yorum için 3000 m<sup>3</sup> hacmindeki salonun ele alınmasına karar verilmiştir. Aynı zamanda tüm yaş grupları için ayrı ayrı hesaplanan yansıma sürelerinin hacme uygulanarak katılımcılara dinletilmesi mümkün görülmediğinden ortalama yaş temsil eden 50 yaş grubu için belirlenen yansıma sürelerinin optimizasyon amacıyla kullanımına karar verilmiştir. Test iki aşamadan oluşmaktadır; Odeon simülasyon programında 3000 m<sup>3</sup>'lük hacim için literatürde (DIN Standardı) verilen yansıma süresi ile mevcut yöntem ile ; 50 yaşındaki dinleyicilerin işitme sistemi dikkate alınarak hesaplanan yansıma süresi kullanılarak iki ayrı

auralizasyon kaydı oluşturulmuştur. 1. kaydın verileri ‘mevcut durum’, 2. kaydın verileri ‘iyileştirilmiş durum’ olarak tanımlanmıştır.

Salonun yaklaşık olarak ortasında yer alan bir alıcı noktası için çalışma gerçekleştirilmiştir. Kayıtlar dinleyicilere bir kulaklık vasıtasıyla sunulurken yalnızca bir kere dinlemeleri ve duydukları

kelimeleri  
yazmaları  
Kayıttaki bir  
konuşmacı  
anekoik

ST-yanıtlar			
KÖPÇİMDEN	GEÇEN	ÖRTÖYLEME	TERERÖT
BİRBİRİNE	KARARAZDIR	KARAKOŞ	BÜŞBİRİNE
BÜFLEYEN	ŞEHRÜZ	KARACOB	GÜNÜMÜLDE
ANADOLUF	ASYAVRUÇ	YAKALARIN	KAYAPUR
ABAKUŞ	DAMANUT	HİÇMETE	ORTALAMA
TRAFİK	GERÇEKLEKMİŞTİR	HAKKASINI	OLUSTURAN
KÖDRÜDE	BUGÜNE	ULAŞIZ	YAPIFASINI
ARASILDAKİ	KARAKOR	KÖPRÜSÜ	YÜTYILIN
YARISYDA	İSTANTÖK	BULVARHIN	GELİTMESİ
ETKİLEME	DURUMUNUP	İNCELEKMEİNİ	KAPSAMARTADIR
KAYNAPLANAN	YERLEŞİMLERİ	DÖŞENMESİ	DÖFEMEDEKİ
TARAFIHDAKİ	BAĞLALTI	YOLUKDAN	ASYAVRUPOV
BAGLAYAN	ETKİLEJME	ÜZERİZDEKİ	ETKİLERİNİH

kağıda  
istenmiştir.  
kadın  
tarafından  
odada

seslendirilen 52 adet kelime yer almaktadır (Şekil 2) [12].

Şekil 2. Dinleme testinde kullanılan anlamsız kelimelerin listesi

Şekil 2. Dinleme testinde kullanılan anlamsız kelimelerin listesi

Dinleme testinin ardından katılımcılardan kısa bir anket cevaplamaları istenmiştir. 54 kadın 28 erkekten oluşan dinleyicilerin yaş ortalaması 46’dır. Cinsiyet dağılımına bakıldığında ise %66 oranında kadın %34 oranında erkek katılımcı yer almaktadır. Farklı yaş gruplarına göre değerlendirme yapılabilmesi için katılımcılar 4 gruba ayrılmıştır. 1. Grup 18-25, 2. Grup 25-50, 3. Grup 50-75 yaş arası; 4. Grup 75 yaş üzeri katılımcılardan oluşmaktadır. Çalışmada elde edilen veriler SPSS istatistik programında değerlendirilmiştir.

Ek olarak SPSS programında verilerin normal dağılıp dağılmadığını öğrenebilmek amacıyla normallik analizi yapılmıştır. Buna göre p değeri 0.05'ten küçük olduğu için 'mevcut durum' ve 'iyileştirilmiş durum' koşulları için uygulanan anlaşılabilirlik testlerinin sonuçları arasında anlamlı bir fark bulunmaktadır. Aynı zamanda her iki koşulda farklı yaş grupları arasında da anlaşılabilirlik sonuçları açısından anlamlı fark olduğu görülmektedir. Verilere korelasyon analizi uygulandığında öncelikle katılımcıların yaşları ile birinci testte (mevcut durum) elde edilen anlaşılabilirlik değerleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Sonuçlara göre korelasyon negatif yönlüdür, yaş arttıkça anlaşılabilirlik değeri düşmektedir. Korelasyon katsayısı 0,30-0,70 aralığında olduğu için 'orta düzeyde ilişki' olarak tanımlanmaktadır. Katılımcıların yaşları ile ikinci testin (iyileştirilmiş durum) anlaşılabilirlik sonuçları arasındaki ilişki incelendiğinde korelasyonun yine negatif yönlü olduğu görülmektedir, yaşın artmasıyla birlikte anlaşılabilirlik değerleri düşmektedir. Önceki testte olduğu gibi yaş ve anlaşılabilirlik değişkenleri arasında 'orta düzeyde ilişki' bulunmaktadır.

### 3.2 Simülasyon ve Anket Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Simülasyon programı çalışmaları ile anket sonuçları incelendiğinde verilerin birbiriyle paralellik gösterdiği görülmektedir. Anket ve dinleme testi aracılığıyla elde edilen verilerin sonuçları detaylı olarak analiz edildiğinde; 3000 m3 boyutundaki konuşma amaçlı hacim için DIN standardında önerilen yansım süresinin hacme uygulanmasıyla elde edilen auralizasyon kayıtları ile gerçekleştirilen, '**mevcut durum**' olarak tanımlanan koşul için elde edilen anlaşılabilirlik (STI) değerleri ortalama **0,60** olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında yararlanılan yöntem aracılığıyla 50 yaşın işitsel duyarlılık ayrımlarına göre belirlenen yansım süresinin dikkate alındığı '**iyileştirilmiş durum**' sonuçlarına göre katılımcıların ortalama anlaşılabilirlik değerlerinin (STI) **0,70**'e yükseldiği sonucuna varılmıştır.

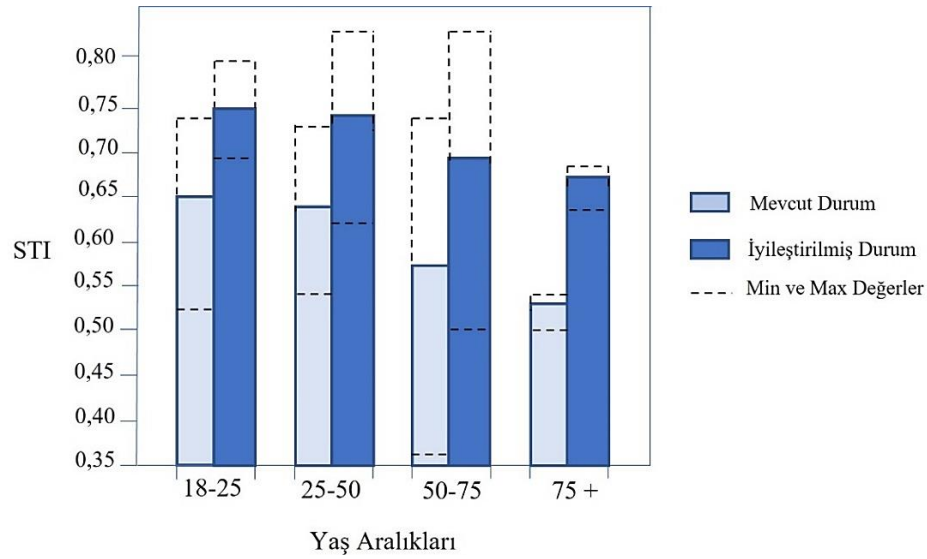
Kadın ve erkek dinleyiciler için bu değerler ayrı ayrı incelendiğinde; **mevcut durum** sonuçlarına göre kadın dinleyicilerde anlaşılabilirlik ortalaması **0,61** erkek dinleyicilerde anlaşılabilirlik ortalaması **0,58** olarak görülmektedir. Kadın ve erkek dinleyiciler için **iyileştirilmiş durum** sonuçlarına bakıldığında ise kadın dinleyicilerde anlaşılabilirlik ortalamasının **0,72**'ye erkek dinleyicilerde anlaşılabilirlik ortalamasının **0,69**'a yükseldiği belirlenmiştir.

İşitsel duyarlılık ayrımlarına göre sonuçların değerlendirilebilmesi için veriler yaş gruplarına göre analiz edildiğinde; 1. grup için (18-25 yaş) hesaplanan ortalama anlaşılabilirlik değerinin **0,65'ten 0,75'e**, 2. grup için (25-50 yaş) hesaplanan ortalama anlaşılabilirlik değerinin **0,63'ten 0,73'e**, 3. grup için (50-75 yaş) hesaplanan ortalama anlaşılabilirlik değerinin **0,56'dan 0,68'e**, 4. grup için ise (75 yaş üzeri) ortalama anlaşılabilirlik değerinin **0,53'ten 0,67'ye** yükseldiği belirlenmiştir. Dinleme testi sonuçlarının genel tablosu **Çizelge 2**'de, grafiksel gösterimi ise **Şekil 3**'te yer almaktadır.

**Çizelge 1:** Mevcut ve iyileştirilmiş durumda anlaşılabilirlik testi sonuçlarının yaş gruplarına göre dağılımı

GRUP	1	2	3	4
Yaş Aralığı	18-25	25-50	50-75	75 Üzeri

Katılımcı Sayısı	11 kişi	32 kişi	35 kişi	4 kişi
<b>Mevcut durum:</b> topt ort. <b>0,94</b>				
Ortalama STI	<b>0,65</b>	<b>0,63</b>	<b>0,56</b>	<b>0,53</b>
En düşük değer	0,52	0,54	0,36	0,50
En yüksek değer	0,74	0,73	0,74	0,54
<b>İyileştirilmiş durum:</b> topt ort. <b>0,72</b>				
Ortalama STI	<b>0,75</b>	<b>0,73</b>	<b>0,68</b>	<b>0,67</b>
En düşük değer	0,69	0,62	0,50	0,64
En yüksek değer	0,80	0,82	0,82	0,68



**Şekil 3.** Genel anlaşılabilirlik sonuçlarının grafiksel gösterimi

Bu değerlendirmeler ışığında dinleme testi aracılığıyla elde edilen öznel veriler ile simülasyon programında hesaplanan nesnel verilerin birbiriyle örtüştüğü ve çalışma kapsamında kullanılan yaklaşım aracılığı ile anlaşılabilirlik değerlerinde iyileştirme sağlanabileceği görülmektedir.

#### 4. SONUÇLAR

Akustik simülasyon programında farklı alıcı noktalarında elde edilen nesnel anlaşılabilirlik sonuçları ile farklı yaş grupları ile yapılan dinleme testleri sonucunda elde edilen öznel değerlendirmeler çalışma kapsamında incelenen standartlarla karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda işitsel duyarlılık ayrımları dikkate alınarak hesaplanan yansım sürelerinin hacme uygulanmasıyla tüm yaş grupları için anlaşılabilirlik değerlerinde artış yaşandığı görülmektedir. Çalışmada belirlenen akustik tasarım koşullarına uyularak hacim genelinde yeterli anlaşılabilirliğin dinleyicilerin büyük çoğunluğu açısından sağlanabilmesinin olanaklı olabileceği görülmüştür. Belirli büyüklüklerdeki dikdörtgen biçimli konuşma amaçlı hacimler ve belirli yaş grupları



özelinde yapılan bu çalışmanın sonuçları farklı yaş grupları ve hacim biçimlerinin kullanımı sonucunda değişebilir. Bu nedenle çalışmanın farklı biçim ve büyüklükte, değişik işlevlerdeki salonlarda ve başka yaş grupları için de tekrarlanmasının sonuçların geçerliliğinin daha yaygın kullanılabilirliği açısından uygun olacağı düşünülmektedir.

## TEŞEKKÜR

Araştırma kapsamında dinleme testinde kullanılan kayıtlar konusundaki yardımları için Doç.Dr. Mehmet Nuri İlgürel'e, test ve anket çalışmalarında yer alacak katılımcılara ulaşma konusundaki özverisi için Prof. Dr. Ayşe Erdem Aknesil'e çok teşekkür ederim.

## KAYNAKLAR

1. TÜİK Kurumsal <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=%C4%B0statistiklerle-Ya%C5%9Fl%C4%B1lar-2022-49667&dil=1> (Erişim Tarihi: 09.01.2024).
2. World Health Organization, "International Classification of Functioning, Disability and Health, (ICF), 2001. <https://www.who.int/standards/classifications/international-classification-of-functioning-disability-and-health> (Erişim Tarihi: 09.01.2024)
3. N. Hoepfner, "The Physical Environment and the Elderly in Social Work Practice" [https://central.bac.lac.gc.ca/.item?id=TC-MWU\\_18797&op=pdf&app=Library&oclc\\_number=1032929847](https://central.bac.lac.gc.ca/.item?id=TC-MWU_18797&op=pdf&app=Library&oclc_number=1032929847) (Erişim Tarihi 09.01.2024)
4. E. Standards, "DIN 18041," <https://www.en-standard.eu/din-18041-acoustic-quality-in-rooms-specifications-and-instructions-for-the-room-acoustic-design/> (Erişim Tarihi: 09.01.2024).
5. J.S. Bradley, "Acoustical design of rooms for speech". Ottawa, ON: Institute for Research in Construction, National Research Council of Canada, 2002. *Scribd*. <https://www.scribd.com/document/342544320/ctu51e> (Erişim Tarihi: 09.01.2024)
6. T. D. Rossing, "The Science of Sound", Addison-Wesley Publishing Company, (1990) [https://books.google.com.tr/books/about/The\\_Science\\_of\\_Sound.html?id=M9xQAAAAMAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.tr/books/about/The_Science_of_Sound.html?id=M9xQAAAAMAAJ&redir_esc=y) (Erişim Tarihi: 09.01.2024)
7. H.Sato, M. Morimoto, R.Ota, "Optimal speech level by public adress system for young and elderly listeners", Kyoto Japan: Proceedings of ICA2004, 2004.
8. "ISO 9921:2003", *ISO 2003*. <https://www.iso.org/standard33589.html> (Erişim Tarihi: 09.01.2024)
9. "DPA Microphones," *DPA*, (2016). <https://www.dpamicrophones.com/mic-university/facts-about-speech-intelligibility>
10. N. Yüçrük, "Konuşma amaçlı hacimlerde işitsel duyarlılık ayrımlarının anlaşılabilirlik üzerindeki olumsuz etkilerini ortadan kaldıracak hacim akustiği koşullarının belirlenmesinde yeni bir yaklaşım," Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 1995.
11. "ISO 7029:2017," *ISO*, 2017. <https://www.iso.org/standard/42916.html> (Erişim Tarihi: 08.01.2024).
12. M. N. İlgürel, "Yükseköğretim dersliklerinin tasarımında gerekli akustik koşullar ile ilgili ölçütlerin belirlenmesi," Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2017.

# SÜRDÜRÜLEBİLİR YAPI MALZEMELERİNİN MİMARİDE AKUSTİK AMAÇLI KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Esra Erkan<sup>1</sup>  
Mehmet Nuri İlgürel<sup>2</sup>  
YTÜ Mimarlık Fakültesi  
Yıldız, Beşiktaş, İstanbul, 34349

## ÖZET

*Doğa ile uyumlu, pasif enerji kullanımına yatkın, ekolojik dengeye saygılı ve çevreye en az düzeyde zarar verebilecek nitelikte tasarlanan sürdürülebilir yapıların dikkat çektiği temel konulardan biri insan sağlığı ve konfordur. Yapı fiziği konu başlıklarından biri olan mimaride akustik tasarım süreci de tıpkı sürdürülebilir yapı tasarımında olduğu gibi insan sağlığı ve konforu açısından uygun koşullara sahip fizik ortamları oluşturmayı amaçlar. Dolayısıyla mimaride akustik tasarım süreci, sürdürülebilir yapı tasarımı bağlamında değerlendirilmesi gereken bütünleşik bir tasarım sürecidir. Tüm bu süreç kapsamında ele alınan bu çalışmanın amacı, yaygın kullanılan endüstri üretimi ses yalıtım malzemelerinin ve yüzey gereçlerinin; sürdürülebilir alternatifleri ile hacim içerisinde akustik konforun sağlanması kapsamında yeniden değerlendirilmesidir. Bu kapsamda Çerkezköy, Tekirdağ'da yer alan bir konferans salonunda kullanılan yüzey gereçleri için sürdürülebilir alternatif öneriler oluşturulmuştur. Önerilen malzemeler sürdürülebilir olmalarının yanı sıra mukavemet, yangına dayanım, kullanılabilirlik, erişilebilirlik ve maliyet gibi ölçütler kapsamında da değerlendirilmiş ve salonun mimari akustik tasarımı sürdürülebilirlik bağlamında yeniden değerlendirilmiştir.*

*Anahtar sözcükler: Konferans Salonu, Mimari Akustik, Akustik Konfor, Sürdürülebilir Yapı Malzemesi, Hacim Akustiği*

## ABSTRACT

*One of the key aspects drawing attention in sustainable architecture is the consideration of human health and comfort, which involves designing structures that are harmonious with nature, inclined towards passive energy usage, respectful of ecological balance, and capable of causing minimal harm to the environment. Just like sustainable building design, the process of acoustic design in architecture, a topic under building physics, aims to create physical environments conducive to human health and comfort. Therefore, the process of acoustic design in architecture should be viewed as an integrated design process that needs to be evaluated within the context of sustainable building design. The objective of this study, encompassing all these processes, is to reevaluate commonly used industrial production sound insulation materials and surface finishes in terms of their sustainable alternatives for providing acoustic comfort within enclosed spaces. In this context, sustainable alternative proposals have been developed for the surface finishes used in a conference hall located in Çerkezköy, Tekirdağ. The proposed materials have been evaluated not only for their sustainability but also for criteria such as strength, fire resistance, usability, accessibility, and cost, and the architectural acoustic design of the hall has been re-evaluated within the context of sustainability.*

*Key words: Conference Hall, Architectural Acoustic, Acoustic Comfort, Sustainable Building Material, Room Acoustic*

<sup>1</sup> e-posta adresi: esra.erk@std.yildiz.edu.tr

<sup>2</sup> e-posta adresi: milgurel@yildiz.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Sürdürülebilir mimarlık, son dönemlerin üzerinde sıklıkla araştırma ve çalışma yapılan alanlarından biri olmuştur [1]. Çevre dostu, enerji etkin, iklime duyarlı yapı tasarımı gibi çalışma alanlarının bulunduğu pek çok dala ayrılan bu ana gövdenin en temel prensibi, yani dayandığı kök insan sağlığı ve konforudur. Sürdürülebilir mimarlık kapsamında araştırılan pek çok alt başlığın birleştiği en önemli nokta insan sağlığı ve konforu açısından en uygun, uyumlu, elverişli mekân ve yapıları oluşturmaktır. Mimari akustik tasarım da bu noktada aynı işlevi amaçlar. Akustik tasarım ister gürültü denetimi ister hacim akustiği açısından ele alınmış olsun, hiç fark etmez. Burada da en temel amaç, gürültünün olumsuz etkilerinden insan sağlığını korumak; istenmeyen sesleri önleyerek kullanıcıları için kullanıma elverişli, konforlu mekânlar oluşturmaktır. Bakıldığında birbirinden ayrı iki araştırma alanı olarak görülen sürdürülebilir mimarlık ve mimaride akustik tasarım süreçleri, aslında her ikisi için de temel olarak nitelendirilebilen ortak bir amaca sahiptir: insan sağlığı ve konforu. Bu amaç doğrultusunda geliştirilen bu çalışma kapsamında da sürdürülebilir mimarlık ve mimaride akustik tasarım süreçlerinin bir arada değerlendirilmesi söz konusudur.

Farklı işlevlere yönelik kullanımı amaçlanan salonlarının, barındırdığı işlev için uygun akustik koşulları sağlaması yapılan pek çok çalışmada ele alınan önemli bir konudur. Salon içerisinde uygun akustik koşulları oluşturulabilmenin önceliği, o salonun işlevine uygun hacim büyüklüğü ve optimum yansım süresi değerlerini sağlamaktır [2]. Uygun yansım süresinin sağlanabilmesiyle birlikte diğer hacim akustiği parametreleriyle ilişkili çalışmalar yapılabilmektedir. Bir hacmin yansım süresi ise, o hacmin büyüklüğü, yüzey gereçleri, mobilya ve dekorlar, hacmin kullanıcı açısından doluluk-boşluk oranı gibi parametrelere bağlıdır [3]. Bu çalışma kapsamında ise, hacmin işlevine uygun yansım süresinin belirlemek için yüzey gereçleri üzerinde çalışmalar yapılmış, mevcut halde kullanılan yüzey gereçleri değerlendirmeye alınmış; sürdürülebilir alternatifleri ile denemeler yapılarak mimari akustik açısından uygun mekânlar oluşturulmaya çalışılmıştır. Böylece, mimari akustik tasarım süreci, insan sağlığı ve konforu üzerinde ortak paydaşı olduğu sürdürülebilir mimari ile bir arada ele alınmıştır.

## 2. ATATÜRK KÜLTÜR MERKEZİ KONFERANS SALONU AKUSTİK ANALİZİ VE DEĞERLENDİRMESİ

Atatürk Kültür Merkezi Konferans Salonu'nun 735 kişilik seyirci kapasitesi bulunmaktadır ve yelpaze biçimli oturma düzenine sahiptir. Konferans, tiyatro ve küçük ölçekli konser işlevlerini gerçekleştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Salon izleyici alanı yaklaşık olarak 23x30m boyutlarında, dar bir açıda ilerleyen yelpaze plan şemasındadır ve yaklaşık 625 m<sup>2</sup>'lik bir alan ile ortalama 4560 m<sup>3</sup>'lük bir hacme sahiptir [4]. Salon genelinde ses yansıtıcı olarak derzli ahşap paneller, ses yutucu olarak ise delikli ahşap paneller kullanılmıştır. Salon zemin kaplaması halı olup, koltuklar kumaş kaplıdır. Salon yan duvarlarında ve tavanlarında kırıklı yüzeyler bulunmakta, salon içerisinde sesin dağılımı böylece sağlanabilmektedir. Aşağıda yer alan **Şekil 1**'de salona dair güncel fotoğraflara yer verilmiştir.



Şekil 1: Atatürk Kültür Merkezi Konferans Salonu fotoğrafları

## 2.1. Salonun Mevcut Akustik Analizi

### 2.1.1. Mimari Tasarımın Akustik açıdan İşleve Uygunluğunun Belirlenmesi

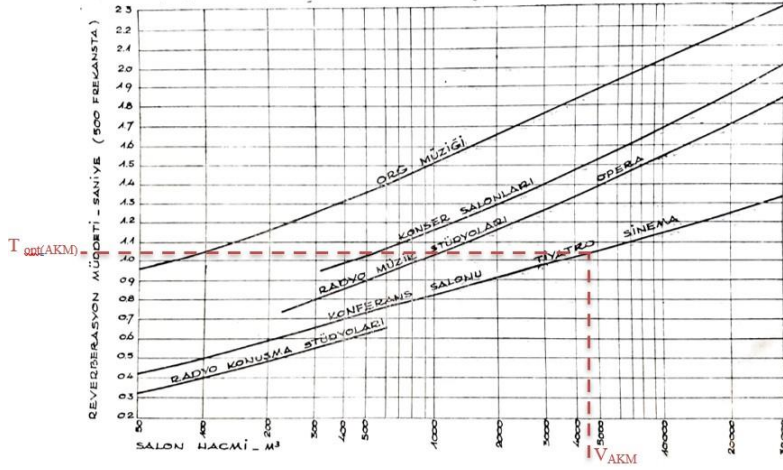
Konferans salonları genel anlamıyla daha çok konuşma ağırlıklı işlevlerin gerçekleştirildiği salonlar olmaktadır. Bu tür salonların hacim büyüklüklerinin saptanmasıyla ilişkili olarak, dinleyici sayısının hacme oranı şeklinde bir büyüklük belirtilmektedir. Örneğin tiyatro ve sinema işlevli salonlar için dinleyici başına düşen ortalama hacmin 4 ila 6 m<sup>3</sup> arasında olması, akustik açıdan gereklidir. Bu büyüklük konferans işlevli salonlar için de geçerlidir. Atatürk Kültür Merkezi Konferans salonu 735 kişilik dinleyici kapasitesi ve 4560 m<sup>3</sup>'lük hacmiyle; dinleyici başına yaklaşık 6,20 m<sup>3</sup>/kişi hacim sağlamakla dolayısıyla bu noktada akustik açıdan gerekli hacim büyüklüğünü kabul edilebilir koşullara yakın olmaktadır. Bununla birlikte salon tasarımında, işleve bağlı olarak çeşitli plan şemalarının kullanımı önerilmektedir. Genelde müzikal işlevler için bu plan şeması dikdörtgen olurken, konuşma işlevli salonlar için yelpaze şeklindedir. Konuşma işlevli salonlar için yelpaze plan tipinin tercih edilme nedeni, bu plan tipinin kaynak kullanıcı arasındaki mesafeyi kısaltarak dolaysız sestem verimli bir biçimde yararlanmayı sağlıyor olmasıdır. Çalışma yapılan salon, yelpaze plan şeması ve oturma düzenine sahiptir. Salon tavan ve yan duvarlarında sesi dağıtmak amacıyla kırıklı yüzeylere yer verilmiştir. Bu kırıklı yüzeylerin hacim içerisindeki etkisini görmek amacıyla ışın diyagramı etütleri oluşturulmuştur (Şekil 2 ve Şekil 3).

Şekil 2'de yer alan duvarlardaki kırıkların yanal yansımaları iletmede etkili olduğu söylenebilmektedir fakat konuşma işlevli salonlar için yanal yansımalar, müzikal işlevleri salonlara görece daha az önem taşır ve yansıyan sesin dolaysız sestem daha yüksek olduğu durumlarda kaynak yönünün algılanmasını zorlaştıracığından doğru bir yöntem ile kullanılması önemlidir. Konuşma işlevli salonlar için, konuşmanın anlaşılabilirliği açısından dolaysız sesin alıcıya ulaşması önemlidir, 9-12 m'den daha uzun mesafelerde ise konuşmanın anlaşılabilirliği azalmakta ve yanal yansımalar dolaysız sesi daha uzun mesafelere aktarmak için bu noktada gerekli olabilmektedir [11]. Şekil 3'te görüldüğü üzere tavana yerleştirilmiş levhalar ise, dolaysız sesin yansımalar yaparak salonun arka kısımlarında konumlanan dinleyicilere ulaştırılmasını sağlamaktadır, fakat burada yerleştirilen levhaların boyutları 1,6-1,7 m arasında değişmektedir; dolayısıyla 3,5 m'nin altında olmakta ve alçak frekans değerlerinde dolaysız sesi yansıtma açısından yetersiz kalmaktadır. Tavanda yer alan levhaların yankı tehlikesi oluşturmaması için dolaysız ses ve yansıyan ses arasındaki yol farkının 14 m'den az olması, konuşma işlevli salonlar için akustik açıdan istenen bir kriterdir (Şekil 4). Oluşturulan etütler yardımıyla sahnede üretilen seslerin salon içerisinde birçok noktaya iletilebileceği ve dolaysız ses ile yansıyan ses arasındaki yol farkının büyüklüğü öngörülebilmektedir.



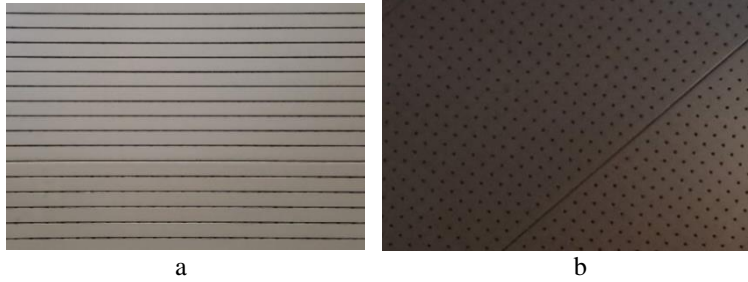
## 2.1.2. Hacmin Optimum ve Mevcut Yansışım Süresi Değerlerinin Belirlenmesi

Her hacmin işlevi ve büyüklüğüne bağlı olarak sağlaması gereken optimum bir yansışım süresi değeri bulunmaktadır (**Şekil 5**). Ele alınan konferans salonu hacmi için **Şekil 5**'te yer alan grafikte değeri okuması yapıldığında, hacmin 500 Hz frekans değeri için sağlaması gereken optimum yansışım süresi değeri yaklaşık 1,05 sn gibi olduğu görülmektedir.



**Şekil 5:** Farklı işlev ve hacim büyüklükleri için optimum yansışım süreleri [5].

Salon duvarlarında yansıtıcı özellik gösteren derzli ahşap paneller, tavanda ise yutucu özelliğe sahip delikli akustik paneller kullanılırken, zemin kaplaması betonarme üzeri halı kaplama şeklindedir. Salonda yer alan koltuklar kumaş kaplıdır (**Şekil 1** ve **Şekil 6**).



**Şekil 6:** Salon duvar ve tavan kaplamaları (a:duvar, b:tavan)

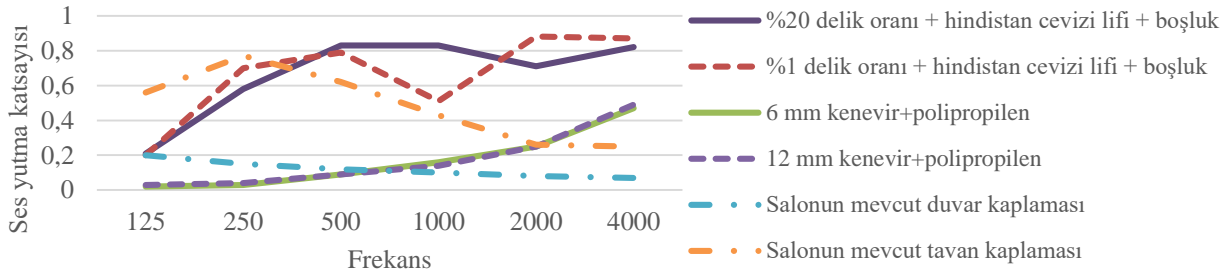
Salonun optimum yansışım süresi, minimum ve maksimum değerleri bununla birlikte mevcut yansışım süresi değerleri **Şekil 9**'da yer alan grafikte verilmiştir. Grafığe bakıldığında salonun mevcut yansışım süresi değerlerinin, 250-500-1000 ve 4000 Hz oktav bantları için subjektif aralıkta kaldığı görülmektedir. 125 Hz ve 2000 Hz değerleri için ise, bu aralığın biraz üzerinde yer aldığı ve iyileştirmelere ihtiyacı olduğu görülmektedir.

## 2.2. Sürdürülebilir Yüzey Gereçleri Kullanımı ile Uygun Akustik Ortamın Sağlanması

Salonun işlevine uygun sağlaması gereken optimum yansışım süresi ( $T_{opt}$ ) ortalama değeri 1,05 sn olarak belirlenmiştir. Bu bölümde yapılan çalışmalarda ise, daha önce literatürde çalışmaları

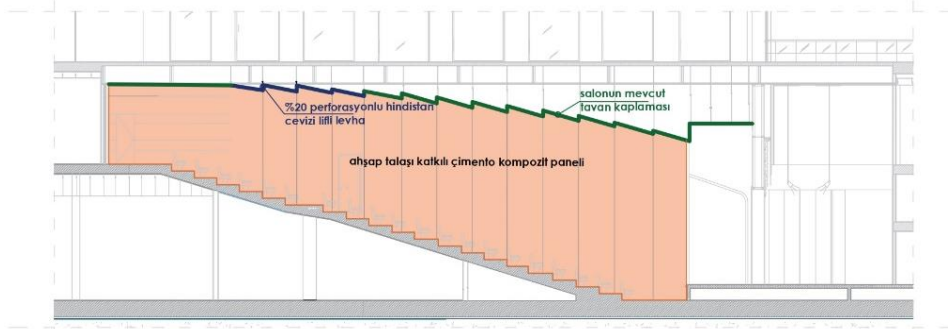
yapılan sürdürülebilir yapı malzemeleri salonda yüzey gereçleri olarak değerlendirmeye alınmış; yansım süresi değerleri yakalanmaya çalışılmıştır.

2010 yılında Fouladi ve ekibi, hindistan cevizi lifleri ile ilgili yaptıkları çalışmalarında 50 mm kalınlıktaki hindistan cevizi lifini, 20 mm kalınlıktaki, %20 ve %1 boşluk oranına sahip levhaların arkasına yerleştirerek ses yutma performansını incelemiştirler [6]. Arkasında lif bulunan %20 boşluk oranına sahip panelin, 125 Hz'deki ses yutma katsayısı 0,21 olurken; 4000 Hz'deki ses yutma katsayısı 0,82 olmuştur. Bunun sebebi hindistan cevizi lifinin gözenekli yapısı ile ilişkilendirilebilir. Gözenekli gereçlerde ses, kılcal boşluklardaki havayı sürtünme yolu ile titreşime sokar ve ses enerjisinin bir bölümünü ısı enerjisine dönüştürerek yutar. Bu noktada sesin yutulması sürtünme hızının fazlalığına, sürtünme hızının fazlalığı da gözeneklerin özellikleri ve titreşim hareketinin hızına yani frekansı ve genliğine bağlıdır. Genliği verilen bir ses enerjisinin yutulması, frekansı arttıkça artar [12]. Bu durum hindistan cevizi liflerinin yüksek frekanslardaki seslerin yutulmasında önemli derecede etkili olduğu göstermektedir (Şekil 7).



Şekil 7: Salonda kullanılan yüzey gereçlerine dair frekansa bağlı ses yutma katsayısı değerleri [6, 7, 8]<sup>3</sup>

Salonda yapılan çalışmalarda ise, arkasında hindistan cevizi lifi yer alan paneller tavanın bir kısmında uygulanmış ve Şekil 9'da yer alan I. tatonmana ait yansım süresi değerleri elde edilmiştir. Yapılan çalışmada tavanın 1/3'lük bir bölümüne %20 boşluk oranına sahip lifli panel uygulanmış, duvarda yer alan yüzey gereçleri 8 mm ahşap talaşı katkılı çimento kompozit panel ile değiştirilmiştir. Bu değişiklikler dışında salonda yer alan diğer yüzey gereçleri korunmuştur (Şekil 9).

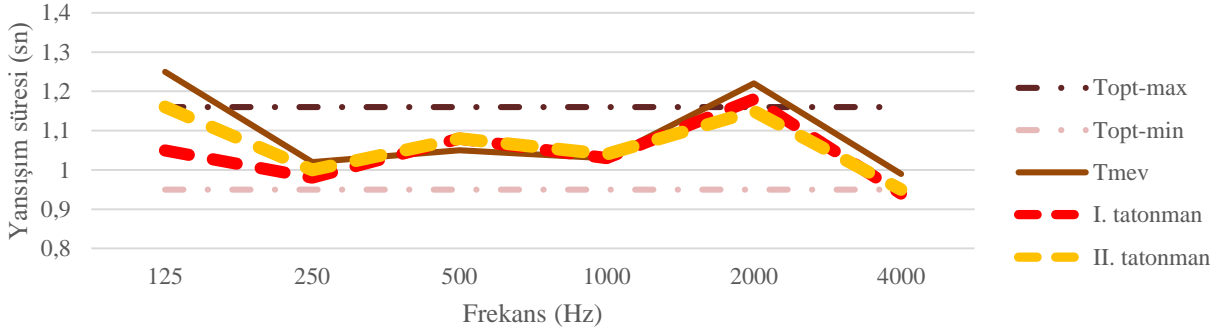


Şekil 8: I. tatonman sonucu duvar ve tavan yüzey gereçlerinde değişim

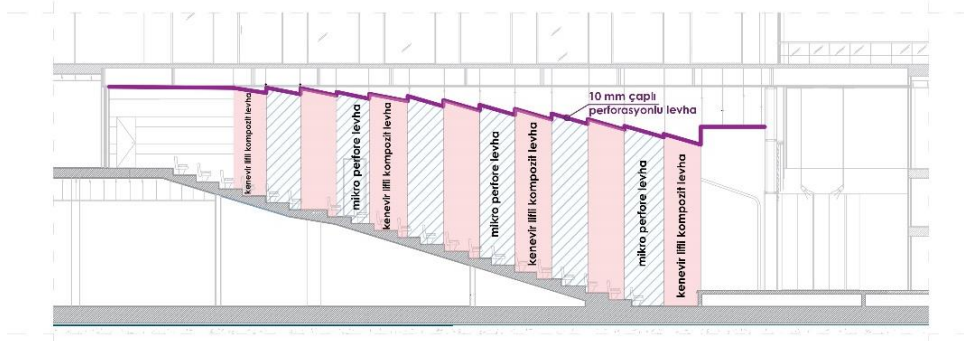
<sup>3</sup> Yapılan literatür çalışmalarında malzemelere ait empedans tüpü ölçüm sonuçlarına yer verilmiştir. Dolayısıyla bu çalışmanın ilerleyen aşamalarında hacmin yansım süresi hesaplanırken empedans tüpü ölçüm sonuçları kullanılacaktır. Ancak yansım süresi hesabı yapılırken çukula yansım odası ölçüm sonuçlarının kullanılmasının daha doğru bir yaklaşım olduğu bilinmelidir.

2022 yılında yapılan bir diğer çalışmada ise, pamuk ve kenevir liflerinin polipropilen ile oluşturulan çeşitli oranlardaki karışımları incelenmiş; kompozitlerin ses yutma katsayıları ölçülmüştür. Burada polipropilen bağlayıcı malzeme olarak kullanılmış ve kompozit malzeme sıcak pres yöntemi ile elde edilmiştir [7]. 6 ve 12 mm kalınlıklı, kenevir lifi ve polipropilen lifinin %50 karışım oranından oluşan kompozitin ses yutma katsayısı değerleri incelendiğinde, düşük frekans değerleri için ses yutma katsayısının da düşük olduğu görülmektedir. Frekans değerlerindeki artışa bağlı olarak malzemenin ses yutma performansı olumlu yönde değişim göstermektedir (**Şekil 7**). Bunun nedeni hindistan cevizi liflerinde olduğu gibi benzer bir durumla açıklanabilir. Kenevir lifi gözenekli bir gereç gibi davranarak ses yutma özelliği göstermiştir. Burada kalınlıktaki artışa bağlı olarak malzemenin ses yutma performansının artması beklenirken, kalınlıktaki artış malzeme yoğunluğunun azalmasına sebep olmuştur [7]. Böylece her iki durum birbirini dengelemiş ve farklı kalınlıktaki kompozitler ses yutuculuğu açısından benzer davranışlar sergilemişlerdir.

Salonda yapılan çalışmalarda, 6 mm kalınlıkta kenevir lifli kompozit paneller duvar kaplamasında yer alan derzli yansıtıcı panellerin bir bölümünde uygulanmış ve **Şekil 9**'da yer alan II. tatonmana ait yansıma süresi değerleri elde edilmiştir. Yapılan çalışmada, duvarın 1/2'lik bir bölümüne lifli panel uygulanmış, duvarda yer alan yüzey gereçleri 20 mm kalınlıklı, 0,5 mm delik çaplı, %3 boşluk oranına sahip ahşap levha ile değiştirilmiştir. Tavanda ise alçak frekanslarda etkili yutuculuk performansına sahip 20 mm kalınlıklı, 10 mm delik çaplı, %34 boşluk oranına sahip ahşap levha tercih edilmiştir (**Şekil 10**).



**Şekil 9:** Tatonman yöntemi uygulamaları sonrası hacimde yansıma sürelerinin değişimi



**Şekil 10:** II. tatonman sonucu duvar ve tavan yüzey gereçlerinde değişimler



Yapılan her iki örnek çalışmada da sürdürülebilir malzemeler aracılığıyla salon içerisindeki yansım süresi değerleri optimum düzeye ulaştırılmaya çalışılmıştır. Salonun mevcut yansım süresi değerleri incelendiğinde 125 Hz ve 2000 Hz frekansları için yansım süresi değerlerinin subjektif üst ayırım eşliğinin de üzerinde olduğu görülmektedir. I. tatonman yönteminin uygulanması sonrasında, arkasında hindistan cevizi yer alan delikli panellerin tavanda uygulanması sonrasında, 125 Hz frekanstaki yansım süresi değeri optimum düzeye getirilmiş; 2000 Hz frekanstaki yansım süresi değeri ise mevcut duruma göre üst ayırım eşliğine oldukça yaklaşmıştır. II. tatonman yönteminin uygulanması sonrasında, kenevir lifi kompozitlerinin duvardaki uygulaması ile ise, tüm frekans değerleri için yansım süresi değerleri, minimum ve maksimum eşikleri arasında kalmıştır (Şekil 9).

### 3. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapı sektörü zaman içerisinde pek çok alanda gelişim göstermiş, yeni yapı malzemeleri ve yapım yöntemlerinin kullanılması kaçınılmaz olmuştur. Kullanıcılar ve üreticiler için daha çevreci ve sürdürülebilir yapı malzemeleri arayışı ortaya çıkmıştır. Çalışma kapsamında ele alınan malzemeler; birer doğal kaynak olmaları, üretim süreçlerinde çevreye zararlarının endüstriyel ürünlere oranla çok daha az olması, bir ürünün atık malzemesinden üretilmeleri yani yeniden kullanılabilir ve geri dönüştürülebilir olmaları, düşük karbon salınımı ile insan sağlığı ve konforu açısından bakıldığında pek çok malzemeye nazaran daha az zararlı olmaları, yerel malzemeler olduklarından ötürü kolay erişilebilirliğin sağladığı ucuz nakliye ve üretim maliyetleri gibi sebeplerle sürdürülebilir malzemeler olarak değerlendirilmişlerdir. Fakat malzeme tercihinde tek kriter malzemenin sürdürülebilir olması değildir, tüm bunlarla birlikte bir malzemenin tercih edilebilir olması için, dayanımı yüksek, yangına direnci yüksek, kolay kullanılabilir, kolay erişilebilir ve uygun maliyetli olması beklenmektedir. Örneğin bu çalışma kapsamında ele alınan hindistan cevizi liflerinden üretilmiş kompozit panellerin Türkiye şartlarında tercih edilebilir ve kullanılabilir olması mümkün olmayabilir. Çünkü bu bitki, bulunduğu coğrafi konum sebebiyle kolay erişilebilir durumda değildir. Başka bir örnek de kenevir lifi kompoziti için verilebilir. Kenevir lifi yerel malzemeler arasında yer aldığından erişilebilirlik açısından hindistan cevizi lifine göre kolaylık sunsa da, sürdürülebilir ve erişilebilir oluşu onu tercih edilebilir bir malzeme haline getirmemektedir. Çünkü kenevir lifi bitkisel kökenli bir lif olduğundan yangına direnci düşüktür, dolayısıyla hacim içerisinde yangın güvenliğini sağlama konusunda yetersizdir. Aynı zamanda darbelere karşı dayanıksız olduklarından bu malzemelerin iç mekândaki kullanımları üzerinde durulması gereken bir husustur. **Çizelge 1**'de yer alan listede çalışma kapsamında değerlendirilen tüm yüzey gereçleri bahsi geçen altı kritere bağlı olarak değerlendirilmiştir.

Kenevir ve hindistan cevizi Türkiye'de yüksek oranda üretimi yapılan bitkiler değildir. Hindistan cevizinin hiç üretimi bulunmamakla beraber, kenevir 2016 yılından itibaren Türkiye'nin bazı şehirlerinde üretilmeye başlanmış fakat ihracatı yapılacak kadar yeterli bir üretim söz konusu olmamıştır [10]. Dolayısıyla bu malzemelerin üretim ve atık üretimi ile geri dönüştürülerek kullanım öyküleri kısıtlı olduğundan erişilebilirlik açısından kolaylık sağlamadıkları söylenebilir. Öte yandan, endüstri ürünü malzemeler erişimi kolay, sürdürülebilir olmaktan uzak, yangın direnci konusunda orta derecede etkili malzemelerdir (**Çizelge 1**). Bu noktada tasarımcı önem kriterine göre doğru malzemeyi seçerek akustik tasarımı gerçekleştirilmelidir.

**Çizelge 1:** Yüzey gereçlerinin karşılaştırılması [9] [10]

Malzeme	Sürdürülebilir	Mukavemet Derecesi	Yangın Direnci	Erişilebilir	Kullanılabilir	Maliyet (tl/m <sup>2</sup> ) <sup>1</sup>
Derzli ahşap panel (mevcut duvar kaplaması)	Hayır	Yüksek	Orta	Yüksek	İyi	680 TL/m <sup>2</sup>
Delikli ahşap panel (mevcut tavan kaplaması)	Hayır	Yüksek	Orta	Yüksek	İyi	1180 TL/m <sup>2</sup>
Hindistan cevizi lifi delikli paneli	Evet	Orta	Düşük	Düşük	Orta	-
Kenevir lifi kompozit paneli	Evet	Orta	Düşük	Orta	Orta	-

<sup>1</sup> 2023 yılı verilerinden derlenmiştir.

**Çizelge 1**'de yer alan veriler değerlendirildiğinde, sürdürülebilir malzemelerin kullanımının çevreye ve ekonomiye katkı sağladığı söylenebilir fakat bu kullanımın yaygın bir hale gelebilmesi için yangın güvenliği, erişilebilirlik, mukavemet gibi konuların çözüme kavuşturulması gerekmektedir.

Salonda mevcut durumda duvar kaplaması olarak kullanılan derzli ahşap panellerin **Şekil 7**'de görülebildiği üzere, yüksek frekanslar değerlerinde yutuculuk açısından diğer yüzey gereçlerine oranla daha az etkili olduğu görülmektedir. Uygulama sırasında tercih edilen kenevir lifi kompoziti ise yüksek frekans değerlerinde orta derecede yutuculuk sağlamaktadır. Diğer yüzey gereçlerinin bir arada kullanımı ile kenevir lifi kompozitinin, derzli ahşap panele alternatif olarak kullanılabilmesi, salonda yansıma süresi iyileştirmeleri yapılabilmesi mümkündür.

Kenevir lifi kompoziti kullanılarak gerçekleştirilen II. tatonman sonrasında yansıma süresi değerlerinin minimum ve maksimum aralıklar içerisinde kalması sağlanmaya çalışılmış, yanıt eğrisindeki olası düzgünlüklerin (distorsiyon) önüne geçilmeye çalışılmıştır. Bir hacimde yansıma süresinin frekansa bağlı değerleri arasında önemli derecede farklılıklar söz konusu olduğunda o hacimde distorsiyon ortaya çıkabilir, ses bazı frekanslarda biçim değiştirebilir veya maskelenebilir. Genel anlamıyla yansıma süresinin frekansa bağlı olarak kabul edilebilir sınırlar içerisinde olması distorsiyon olasılığını azaltsa da konuşma işlevli salonlarda böyle bir akustik kusurun meydana gelmemesi için yansıma süresinin her frekansta birbirine oldukça yakın değerlerde olması, yani yanıt eğrisinin neredeyse düz bir çizgi halinde devam edebiliyor olması istenir [11]. Çalışma kapsamında elde edilen tatonman sonuçları incelendiğinde, tüm frekans değerleri için yansıma sürelerinin minimum ve maksimum aralıklar içerisinde yer aldığı görülmüştür. Bununla birlikte, frekansa bağlı olarak gözlemlenen yansıma süresi farklılıkları nedeniyle distorsiyon oluşumunu azaltma adına yeterli performansı gösteremeyebileceği düşünülebilir. Tavanda mevcut durumda kullanılan delikli akustik paneller de tıpkı duvar uygulamasında olduğu gibi salonun yansıma süresinin iyileştirilmesinde etkili olmuştur. I. tatonman ile elde edilen sonuçlara bakıldığında burada kullanılan delikli paneller, ilgili frekans değerleri için mevcut duruma göre daha iyi yansıma süreleri sağlamışsa da 2000 Hz frekans değerinde minimum ve maksimum aralıklar arasında yer alamamıştır. Yine bu tatonman yöntemi uygulamasında da salonun, frekansa bağlı gözlemlenen yansıma süresi farklılıkları nedeniyle distorsiyon oluşumunu azaltma adına yeterli performansı gösteremeyebileceği düşünülebilir (**Şekil 9**).

#### 4. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında bazı doğal malzemelerinin akustikteki rolü incelenmiş; sürdürülebilir mimarlık kavramının mimaride akustik tasarım süreçlerinde rol alabileceği gözler önüne serilmiştir. Yapılan her tatonman yöntemi uygulamasında salonda yer alan bir yüzey gereci, kendisine

alternatif olabilecek sürdürülebilir bir malzeme ile değiştirilmiş ve bu malzemenin salonun yansım süresine etkileri kuramsal hesaplama yöntemi ile değerlendirilmiştir. Sürdürülebilir mimarlığın hacim akustiği alanına uygulanmasında, tek başına sürdürülebilir bir malzemenin tasarımda kullanılmasının sürdürülebilirlik yaklaşımını desteklemesi beklenemez; dolayısıyla bu durum konuya mutlaka bütüncül yaklaşımı gerekli kılmaktadır. Çalışmanın ilerleyen aşamalarında salonda yer alan tüm yüzey gereçlerinin ve belki koltukların sürdürülebilir bir yaklaşımla ele alınması gereklidir. Ayrıca, kullanılan gereçlerin renk ve doku özelliklerinin ve birbiriyle uyumunun da “sürdürülebilirlik” kavramını destekleyecek nitelikte seçilerek salonun hacim akustiği açısından tasarımının yapılması uygun olacaktır. Ancak o zaman sürdürülebilirlik ve mimari akustik tasarım kavramları bütünleşik bir yaklaşım ile ele alınmış olabilir.

Sonuç olarak, bazı sürdürülebilir malzemelerin salonlarda yüzey gereci olarak kullanılabildikleri ve mimari akustik tasarım süreçlerinde etkin rol alabildikleri görülmekle beraber; kullanımlarının yaygınlaştırılabilmesi için erişilebilirlik, kullanılabilirlik, yangın güvenliği gibi konuların çözüme kavuşturulması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında, her alanda olduğu gibi akustik alanında da ihtiyaç duyulan sürdürülebilir malzeme eksikliğinin karşılanabilmesi için bu tür malzemelerin akustik tasarımda kullanılabilirliği bazı tatonman yöntemi uygulamalarıyla değerlendirilmiştir.

## KAYNAKLAR

1. “Sustainability”, 2024. (12 Nisan 2024), <https://trends.google.com/trends/explore?cat=174&date=all&q=sustainability&hl=tr>
2. M. Kavraz, *Salonların Mimari ve Akustik Açından Tasarım Süreçleri: Gürültü Kontrolü*, Ankara, Türkiye: Gece Kitaplığı, (2019).
3. O. Keskin, “Doğal Lifli Kompozitlerin Ses Yutma Performanslarının Belirlenmesinde Laboratuvar Çalışması ve Yapay Zekâ Yaklaşımı: Su Kabağı Lifleri- Epoksi Kompoziti Örneği,” Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, (2021).
4. D. Yalçın, Atatürk Kültür Merkezi Konferans Salonu Mimari Projesi, (Ekim, 2023).
5. T. Baytın, *Binalarda Akustik Tedbirler (Auditorium'lar)*, İstanbul, Türkiye: İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, (1963).
6. M. H. Fouladi, M. J. M. Nor, M. Ayub and Z. A. Leman, “Utilization of coir fiber in multilayer acoustic absorption panel” in *Applied Acoustic*, 71(3), (2010), pp:241-249.
7. H. Sezgin, S. Cimilli Duru and C. Candan, “Evaluation of acoustic performance of hemp and cotton fiber reinforced thermoplastic composites” in *Bursa Uludag University Journal of The Faculty of Engineering*, 27(1), (2022), pp: 151-162.
8. “Perfopan”, 2024. (17 Nisan 2024), <https://www.perfopan.com/index.html>
9. F. Asdrubali, “Survey on the acoustical properties of new sustainable materials for noise control” in *Euronoise*, (2006).
10. M. Göre ve O. Kurt, “Bitki üretiminde yeni bir trend: Kenevir” in *International Journal of Life Science and Biotechnology*, 4(1), (2021), pp: 138-157.
11. Z. Yüksel Can, M. N. İlgürel, “Hacim Akustiği Kuramı” 2022-2023 Bahar Yarıyılı Ders Notları [PDF Belgesi].
12. Ş. Sirel, *Yapı Akustiği I Temel Bilgiler*, 2. Baskı. İstanbul, Türkiye: İstanbul Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi Yayınları, 1980.

# FARKLI EVRİŞİMLİ SİNİR AĞI MODELLERİNİN DEPREM SONRASI HASAR TESPİTİ SÜRECİNDE KULLANIMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Raşit Eren Cangür<sup>1</sup>  
Togan Tong<sup>2</sup>  
YTÜ Mimarlık Fakültesi  
Beşiktaş, İstanbul, 34349

## ÖZET

*Deprem sonrası güvenlik uygulamaları kapsamında deprem hasarının tespiti, afet sonrası süreci yönetmekte büyük öneme sahiptir. Hasarlı yapı sayısının, tespit ekipleri sayısından fazla olması tespit süreçlerinde sonuca ulaşmayı geciktirmektedir. Bununla birlikte, uzmanların farklı seviyelerdeki deneyimleri ve hasarlı yapı sahiplerinin psikolojik gerginliği tespit sürecinde doğru karar alınmasının önüne geçmektedir. Bu nedenle bu çalışmada, evrişimli sinir ağlarının sınıflandırma algoritmalarını kullanarak, betonarme yapılarda deprem sonrası oluşan hasarların yapısal olan ve yapısal olmayan hasarlara göre sınıflandırılması amaçlanmıştır. Sınıflandırma sürecinde kullanılacak olan algoritmaların farklı potansiyeller içermesinden dolayı AlexNet ve VGG19 modelleri eğitilmiş ve karşılaştırmalı olarak test edilmiştir. Eğitim sonucunda AlexNet modeli %97.41 oranında doğruluk değerine sahipken, VGG19 modelinin en yüksek doğruluk değeri %90.40 olarak gözlemlenmiştir. Bununla birlikte test verisetindeki doğruluk değerleri ve Sınıf Aktivasyon Haritaları (Class Activation Map) incelendiğinde AlexNet modelinin VGG19 modeline kıyasla daha doğru sonuçlar verdiği görülmüştür. Çalışmada veri seti olarak, 6 Şubat 2023' de gerçekleşen Kahramanmaraş ve Hatay depremleri sonrası toplanmış hasar fotoğrafları kullanılmıştır.*

*Anahtar sözcükler: Evrişimli Sinir Ağları, Sınıf Aktivasyon Haritaları, Hasar Tespiti*

## ABSTRACT

*Detecting earthquake damage as part of post-shock safety standards is critical for managing the disaster safety process. The fact that there are more damaged buildings than there are detecting teams causes a delay in the detection processes' outcome. Furthermore, the owners of damaged properties face psychological stress and the specialists have varying degrees of experience, which makes it difficult to make the right decisions during the detecting process. Thus, the purpose of this study is to use convolutional neural network classification methods to categorize post-earthquake damages in reinforced concrete structures based on structural and non-structural damages. Comparative training and testing was done on the AlexNet and VGG19 models because the potentials of the methods to be used in the classification process differ. After training, the AlexNet model's accuracy is 97.41%, while the VGG19 model's best accuracy is 90.40%. On the other hand, the analysis of the test dataset's accuracy values and Class Activation Maps (CAM) reveals that the AlexNet model outperforms the VGG19 model in terms of accuracy. The study's dataset consisted of damage pictures taken from the 6 February 2023, earthquakes in Hatay and Kahramanmaraş.*

*Key words: Convolutional Neural Networks, Class Activation Maps, Damage Detection*

<sup>1</sup> e-posta adresi: rasit.cangur@yildiz.edu.tr.

<sup>2</sup> e-posta adresi: togantong@yahoo.com.

## 1.GİRİŞ

Yıkıcı depremlerin sonrasında (Kahramanmaraş 2023, Kocaeli 1999, Haiti 2010, Erzincan 1939), betonarme yapılarda oluşan sismik hasarların tespit edilmesi ve değerlendirilmesi zor ve karmaşık bir hal alabilmektedir. Bu nedenle, tüm dünyada yapıların deprem sonrası hasar tespitinin yapılabilmesi için deneyime dayalı, hızlı ve kesin birtakım prosedürlerin uygulanması gerekmektedir. Ancak uzmanların farklı seviyelerdeki deneyimleri ve hasarlı yapı sahiplerinin psikolojik gerginlikleri, deprem sonrası doğru bir karar alınmasını zorlaştırmaktadır[1]. Bununla birlikte, sahadaki hasar tespit ekiplerinin güvenli tarafta kalma eğiliminde olmaları ve bunun sonucunda yapıları olduklarından daha hasarlı sınıflara dahil ederek önemli miktarda hatalı hasar sınıflandırmasına sebep olmaktadır[2]. Bu nedenlere ek olarak, deprem sonrası güvenlik çalışmalarında yer alan hasar tespit ekiplerinin sayısı ile depremden etkilenmiş yapı sayısı arasındaki farkın fazla olması sürecin yavaş ilerlemesine sebebiyet vermektedir[3].

Tüm dünyada deprem sonrası benzer şekillerde yaşanan bu problemlerin üstesinden gelebilmek için özellikle alçak ve orta katlı binaların hasar tespitinde kullanılmak üzere bir dizi teknik doküman[4] ve çeşitli araştırmacılar tarafından hasar tespit metodolojileri kılavuzları geliştirilmiştir[5]. Bu yöntemlerin hepsi binalar dışarıdan ağır hasarlı değilse, yapı elemanlarının bina içinden kontrolü edilerek hasarın tespit edilmesini önermektedir. Tüm bu değerlendirme işlemi sonucunda, yapının hasarlı katındaki hasarlı yapısal elemanlarının kat içerisindeki konum bilgisine, dağılım şekline, hasarının türüne ve seviyesine bağlı olarak belirlenen Sismik Hasar İndeksi(SHI) değeri elde edilmektedir[6]. Ancak bu tür kılavuzların uzman adaylarına aktarımı ve uygulama süreci, afet sonrası zaman yönetimi ile ters düşmektedir.

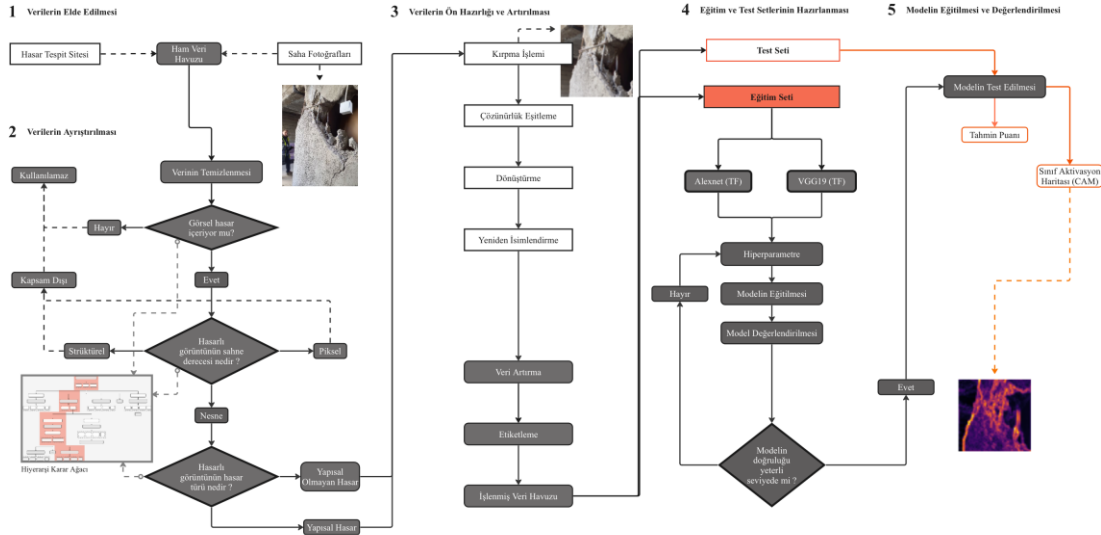
Tüm bu teknik dokümanların dışında son zamanlarda, makine öğrenmesi ve derin öğrenme temelli yaklaşımlar ile hasarın tespitini ve sınıflandırmasını amaçlayan çalışmalar yürütülmüştür[7][8][9]. Bu çalışmalarda kullanılan hasar görüntülerinin kullanım biçimleri, çalışmanın tespit edeceği soruna göre değişkenlik göstermektedir. Gao ve Mosalam[10], bu hasar görüntülerini piksel, eleman ve strüktür kompozisyonu içerecek şekilde üç ayrı sınıfta tanımlayarak, her bir hasar görseli sahnesinin getirdiği avantajları ve dezavantajları ortaya koyan bir karar ağacı tanımlamıştır. Bu sınıflandırma kapsamında piksel derecesinde hasar görüntülerinin kullanıldığı çalışmalarda hasarlar; ikili(hasar var, hasar yok), aşamalı (hasarsız, hafif, orta, ağır) ve çoklu(çatlak, döküntü, bozulma vb.) olarak bu sahne özelliğini içeren görseller kullanıldığında tespit edildiği gözlemlenmiştir[11]. Güncel literatüre bu şekilde baktığımızda, yapılarda deprem sonrası oluşan hasarların yapısal olan ve yapısal olmayan elemanların hasarlarına göre sınıflandırılmasına yönelik çalışmalarda eksiklik gözlemlenmiştir. Bu nedenle bu çalışmada, iki farklı Evrişimli Sinir Ağları(ESA) modeli karşılaştırmalı olarak kullanarak deprem sonrası betonarme yapılarda oluşan hasarların yapısal olma durumuna göre sınıflandırması amaçlanmıştır. Aynı zamanda, hasar tespit sürecinde öznel yorum oluşan risklerini ve gereksiz zaman kaybının önüne geçmek, bu çalışmanın amaçları arasında olmuştur.

## 2. YÖNTEM

Çalışmanın yöntemi, veri setinin oluşturulması, verilerin ayrıştırılması, veri seti ön hazırlık işlemleri, sınıflandırma modelinin eğitim ve test veri setlerinin oluşturulması ve eğitim adımından oluşmaktadır. Bu adımlardan aşağıdaki başlıklarda detaylıca bahsedilmiştir.

## 2.1 Veri Setinin Oluşturulması

Çalışma kapsamında 8.041 görüntü toplanmıştır. Veriler 6 Şubat Kahramanmaraş ve Hatay depremleri sonrasında çekilen görsellerden elde edilmiştir. Deprem sonrası yapılan saha çalışmalarında betonarme yapılarda meydana gelen kolon, kiriş ve perde gibi taşıyıcı nitelikteki elemanlarda oluşan yapısal hasarlar ile dolgu duvarlar gibi yapısal olmayan elemanlarda oluşan hasar görüntüleri alana gönderilen bilirkişi grupları tarafından toplanmıştır. Bununla birlikte Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın "hasartespit.csb.gov.tr" sitesinden, yapıların iç mekanlarından deprem hasarları görüntüleri de veri setine dahil edilmiştir. Bu işlemler çalışmanın akış şemasının 1 numaralı adımında gösterilmiştir(Şekil 1).



Şekil 1: Çalışma yönteminin akış şeması

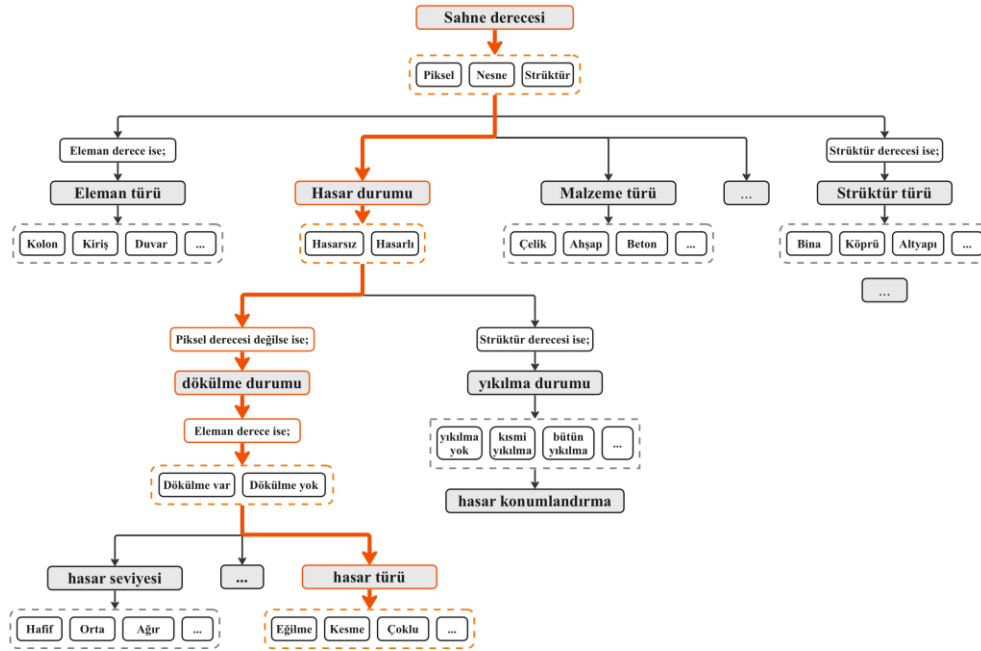
Ancak görsellerin çoğu yeterli kalitede olmama, anlamlı hasar barındırmama, dış mekan içirme ve korozyon gibi deprem temelli hasarlar içermemekten kaynaklı toplanan görsellerde gözlem yoluyla ayırtılmaya başvurulmuştur. Toplanan görsellerden elenmiş olan bazı görseller gösterilmiştir(Şekil 2). Bu ayırtılmanın sonucunda çalışmadan kullanacak veri setinin görsel sayısı 953 olmuştur. Bu işlem akış şemasının 2 numaralı adımında gösterilmiştir (Şekil 1).



Şekil 2: Toplanan verilerde kullanılmayan görseller

## 2.2 Verilerin Ayırıştırılması

Toplanan veriler, sınıflandırma görevi için oldukça karmaşıktır. bu durum istenen sınıflandırma görevinin başarıyla gerçekleştirilebilmesi için verilerin temizlenmesini zorunlu kılmaktadır. İlk olarak, veri setindeki anomali veya aykırılıkların belirlenmesi için hangi kriterlerin kullanılacağına karar verilmesi gerekmektedir. Ardından, sınıflandırma görevi için önemli olan özelliklerin belirlenmesi ve bu özelliklerin eksik veya yanlış verilerle nasıl başa çıkılacağına belirlenmesi gerekmektedir. Temizleme süreci, veri setinin bütünlüğünü sağlamak, güvenilir sonuçlar elde etmek ve sınıflandırma algoritmalarının etkin bir şekilde çalışmasını sağlamak amacıyla dikkatlice yönetilmelidir.



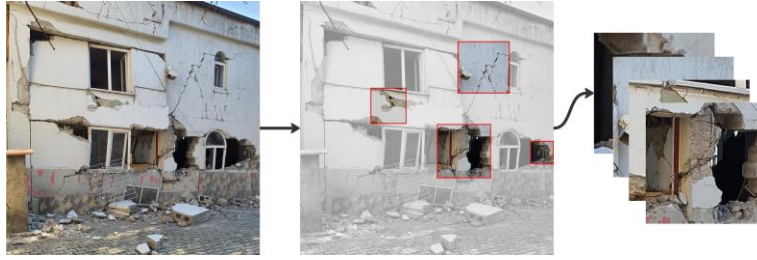
Şekil 3: Hasar Hiyerarşi Ağacı ([10]’ dan uyarlanmıştır).

Söz konusu yapısal hasarları barındıran görsellerin bilgisayarlı görü teknolojilerinde kullanılması olduğunda, resimlerin çekim açıları, çekim mesafeleri ve vurgulanan objelerin farklılığı gibi düzensiz ve kontrol edilemeyen faktörlerinden doğan katmanlı öznelilikleri oluşmaktadır. Gao ve Mosalam[10] yapısal hasarları tanıma, tespit etme, değerlendirme ve sınıflandırma gibi farklı görevleri gerçekleştirirken görsellerin özneliliklerine göre hangi göreve uygun olduklarını sistematik bir biçimde gösteren bir hiyerarşi ağacı oluşturmuşlardır. Bu hiyerarşi ağacının çalışmada izlediği yol turuncu renkte temsil edilmiştir(Şekil 3). Bu gruplandırmaya göre görseller ayıklanmış ve yetersiz kalite, anlamlı hasar barındırmama, dış mekan içirme ve korozyon gibi deprem temelli hasarlar içermemekten kaynaklı görseller gözlem yoluyla yazarlar tarafından ayırıştırılmıştır. Toplanan görsellerden elenmiş olan bazı görseller gösterilmiştir(Şekil 4).



Şekil 4: Veri seti içerisindeki yapısal hasar örnekleri.

### 2.3 Veri Setinde Ön Hazırlık İşlemleri



Şekil 5: Görsel veri ön hazırlık işlemi.

Toplanan verilerin içerisinde deprem hasarları hem sayısal olarak hem de konumsal olarak değişkenlik göstermektedir. Evrişimli algoritmaların özellik çıkarım süreçlerinde katman sayısını azaltmak ve algoritmanın daha verimli çalışmasını sağlamak amacıyla toplanan resimler yalnızca hasarları içerek şekilde kırpılmıştır. Evrişimli sinir ağlarının simetrik matris kabul etmesinden dolayı resimler 1x1 oranında kırpılmıştır. Şekilde örnek kırpma işlemi gösterilmiştir (Şekil 5). Kaynak görsellerin çözünürlüğüne bağlı olarak farklı çözünürlüklere ait yeni kırpılmış görseller elde edilmiştir. Girdi görsellerde yeniden boyutlama yaparak bütün görsellerin çözünürlüğünün 512x512 olması sağlanmıştır. Sonrasında, veri setinde farklı uzantılı görseller var ise hepsi ".jpg" uzantısına dönüştürülmüş ve görseller yeniden isimlendirilmiştir. Bu işlem akış şemasının 3 numaralı adımında gösterilmiştir (Şekil 1). Bu işlemlerden sonra, sırasıyla veri artırma ve veri etiketleme işlemleri uygulanmıştır.

### 2.4. Derin Öğrenme Modellerinin Seçilmesi

Evrişimli Sinir Ağı modellerinin performansı veri sayısına bağlı olarak değişmektedir. Bu bağlamda, elde edilen veri sayıları tek bir modeli baştan eğitmek için yeterli olmadığından, Transfer Öğrenme yöntemine başvurulmuştur. Transfer öğrenme sayesinde, her parametrenin öğrenilmesine vakit harcanmadan başlangıç ağırlıkları hazır alınmış ve öğrenilmesi gereken parametre sayısı azaltılmıştır. Çalışmada, literatürde oldukça sık yer alan AlexNet modeli ve VGG19 modelleri kıyaslama yapılabilmesi için tercih edilmiştir. Veri sayısına bağlı olarak modellerin başarısını artırmak amacıyla, mevcut veriler üzerinden veri artırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Algoritmanın odaklanması gereksiz detaylar elimine edilmiş, hasar



görüntülerinde bulunan ev veya işyeri içindeki nesnelere (duvar kağıdı, tablo, çiçek vb.) kırılarak modelin sadece hasarın şekline ve derinliğine odaklanması sağlanmıştır. Kırılan resimler yeniden boyutlandırılarak girdi görüntülerin boyutu 512x512x3 olarak güncellenmiştir. Veri üzerine bütün bu ön işlemler yapıldıktan sonra Keras ve Pytorch kütüphaneleri Google Colab ortamına yüklenmiştir. Çalışmada kullanılan verilerin, %80'i eğitim ve %20'si test olacak şekilde ayrılmıştır. Eğitim veri setinin %20'si, eğitim sürecinde kullanılacak doğrulama(validation) veri setini oluşturmuştur. Seçilen her iki model de ardışık(sequential) model grubu arasında yer almaktadır. Ardışık modeller bir dizi sinir ağı katmanlarından oluşmaktadır. Bu modeller belirli sıra ile ardışık olarak gelen verileri işleme almaktadır. Çizelgede modellerin katmanların filtre boyutlarına ve çıkış türlerine yer verilmiştir(**Çizelge 1**). Ancak her iki sıralı modelde 1000 sınıflı işlemler için eğitilmiş modellerdir. Bu nedenle modellerin sınıflandırma yapan katmanının parametreleri, yalnızca iki sınıflı işlem yapacak şekilde revize edilmiş ve diğer parametreleri transfer öğrenme sürecinde dondurulmuştur. Modeller, çizelgede gösterilen konfigürasyonlara göre eğitilmiştir. Bir sonraki bölümde, belirtilen değerlendirme yöntemlerine göre eğitim sonuçları incelenmiştir.

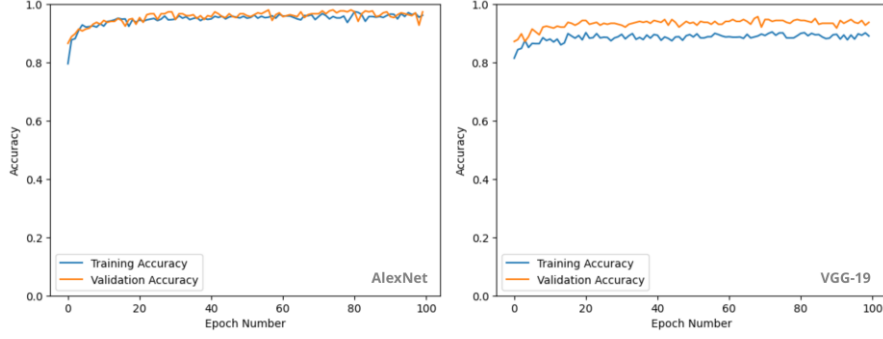
**Çizelge 1:** İki farklı evrişimli sinir ağı modelinin eğitim konfigürasyonları

	<b>Model 1</b>	<b>Model 2</b>
Transfer Öğrenmeli Model	AlexNet	VGG19
Giriş Boyutu	[3, 24, 24]	[3, 24, 24]
Yığın Boyutu(Batch Size)	32	32
Döngü(Epoch) Değeri	100	100
Optimizasyon Fonksiyonu	Adam	Adam
Değerlendirme Yöntemi	Accuracy, CAM	Accuracy, CAM
Aktivasyon Fonksiyonları	ReLU, Softmax	ReLU, Softmax
Kayıp(Loss) Fonksiyonu	NLLoss	NLLoss
Öğrenme Hızı Değeri	0,001	0,001
Katman Sayısı	8	19

### 3. MODELLERİN EĞİTİMİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

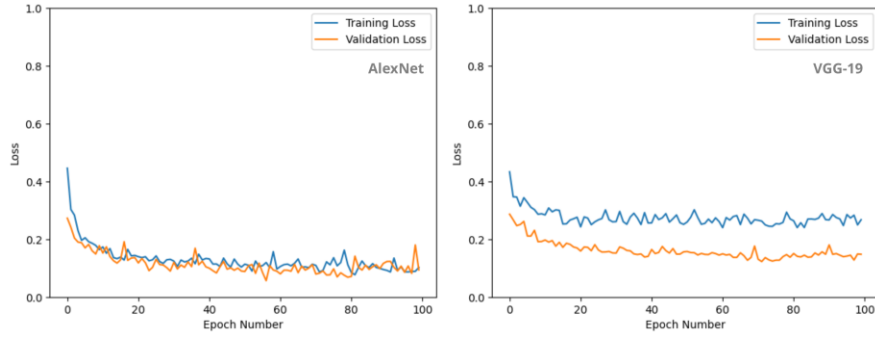
Evrişimli Sinir Ağları modelleri eğitiminden sonra her döngü değerinin aldığı doğruluk değeri ve kayıp değeri grafiklerde gösterilmiştir. Doğruluk grafiklerinde, her epochta eğitim ve test veri setlerinden elde edilen başarı değerlerini göstermektedir. AlexNet modelinin ilk döngüde(epoch) elde edilen en düşük eğitim başarısı %84,85 (0.8485) iken en yüksek eğitim başarısı %97.41 (0.9741)'dir. Buna karşın, VGG-19 modelinin ilk döngüde elde edilen en düşük eğitim başarısı %83.56(0.8356) olup en yüksek eğitim başarısı %90.40 (0.9040) olarak kaydedilmiştir(**Şekil 6**).

Kayıp grafiklerinde ise, her döngüde eğitim ve test veri setlerinden kaydedilen kayıp değerlerini yansıtmaktadır. Her bir döngüde, algoritmaya verilen tüm verilerle hata değerleri hesaplanmakta ve geri yayılım algoritmasıyla seçilen optimizasyon fonksiyonu, hata oranını en aza indirmek için ağı güncellemektedir.



Şekil 6: AlexNet ve VGG19 modellerinin her döngüde elde ettiği başarımların (accuracy) değerleri.

AlexNet modelinin İlk döngüde, eğitim setinden elde edilen en yüksek kayıp oranı %28.67 (0.2867) iken en düşük kayıp oranı %7.60 (0.0760)' dır. Bununla birlikte VGG-19 modelinin ilk döngüde elde edilen en yüksek kayıp oranı %32.10(0.3210) iken en düşük kayıp oranı %23.90 (0.2390)'dır(Şekil 7). Bu değerlerin sonucunda, tüm grafiklere karşılaştırmalı baktığımızda ise AlexNet modelinin VGG-19 modeline göre daha başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 7: AlexNet ve VGG19 modellerinin her döngüde elde ettiği kayıp(loss) değerleri.

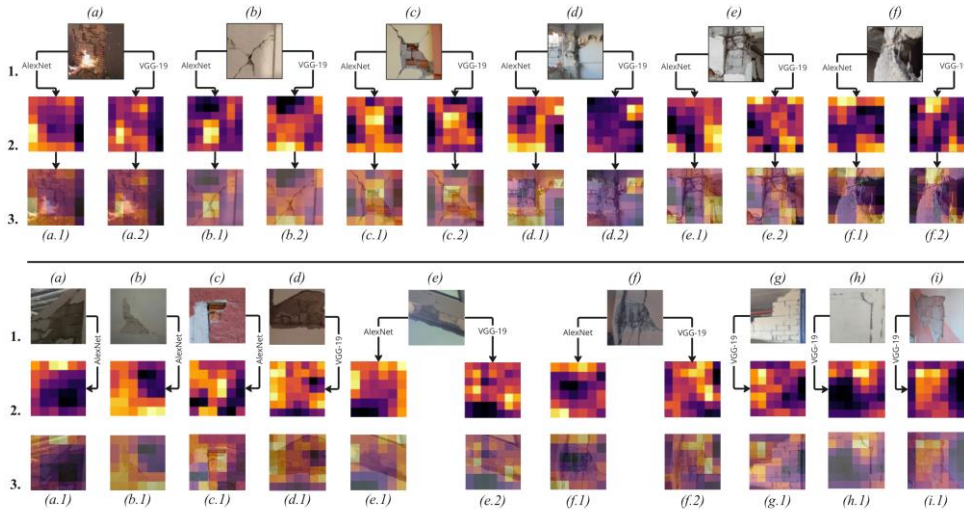
Eğitim sonucunda modellerin test veri kümesi üzerinde denenmesinden sonra elde edilen sonuçların görselleri gösterilmiştir(Şekil 8). Test görselleri altında doğru tahmin edilen sınıf etiketleri ve tahmin puanları yeşil kutu içerisinde, yanlış tahmin edilen sınıf etiketleri ve tahmin puanları kırmızı kutu içerisinde şekilde gösterilmiştir.

AlexNet ve VGG19 modelleri çizelge gösterildiği üzere(Çizelge 1) farklı sayıda özellik çıkarma katmanından oluşmaktadır. Bu sebeple , modelin son katmanına kadar belirli aralıklarda seçilmiş katmanlara Sınıf Aktivasyon Haritası(Class Activation Map) yöntemi uygulanmış ve özellik çıkartma işlemi yapılırken modelin o aşamada pikselleri hangi şiddette kullandığına bakılmıştır. Başka bir deyişle, görselin hangi sınıfa ait olduğuna karar verme sürecinde, hangi örüntünün daha baskın kullanıldığı, bu haritalarla belgelenmektedir.



**Şekil 8:** AlexNet(solda) ve VGG19(sağda) modellerinin test veri seti üzerindeki doğruluk değerleri.








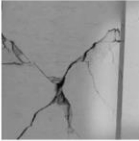




Şekilde gösterildiği üzere; modellerin doğru ve yanlış tahmin ettiği görseller ile o görsellerin her bir modelin özellik çıkarma aşamasındaki son katmanından elde edilen SAH verilerinin üst üste getirilerek çakıştırılması sergilenmiştir(Şekil 9). Görsellerin sınıflandırılırken tetiklendiği yoğunluk şiddetleri bölgeleri, modeller arasında farklılık göstermektedir. Üstte yer alan şeklin üçüncü aşamasında, görüntülerin pozitif sonuç elde etmesinde rol oynayan görsel desenler görülmektedir. (b.1), (c.1) ve (d.1) görsellerindeki desenler, aynı kaynaktan çıkan VGG-19 modelinin sonucuna kıyasla hasarların kimliklerini oluşturması açısından gerçeğe daha yakın bulunmuştur. Öte yandan (e.2) ve (f.2) görsellerindeki desenler ise aynı kaynaktan çıkan AlexNet modeli sonucuna kıyasla hasarın kimliğinin atanmasında seçtiği görsel örüntüler gerçeğe daha yakın olduğu gözlemlenmiştir. (a.1) ve (a.2) modellerinde bu açıdan bir fark görülmemiştir. Altta yer alan şeklin üçüncü aşamasında ise görüntülerin negatif sonuç elde etmesini sağlayan görsel desenleri gözlemlenmektedir. (a.1), (e.1), (f.1), (f.2) ve (g.1) görsellerindeki yüksek derecede tetiklenmiş alanlar hasarı oluşturan bölgeleri kapsamamaktadır. Diğer taraftan (b.1), (c.1), (d.1), (e.2), (h.1) ve (i.1) görsellerinde yüksek derecede tetiklenmiş alanlar, görseldeki hasar ile kısmen örtüşmektedir.



**Şekil 9:** Doğru(üstte) ve yanlış(alta) tahminlerin sınıf aktivasyon haritaları(SAH) ile süperpoze edilmesi.

Son olarak, test veri setindeki görsellerin üç kanallı renk bilgisi taşıyıcılarının yanı sıra, tek kanallı(siyah-beyaz) renk bilgisi taşıyıcılarında sınıflandırma sonuçlarındaki değişim

gözlemlenmiştir (Şekil 10). Şekilde görüldüğü üzere, (a) görselinde görüntünün renksizleştirilmesinden sonra tahmin sonucunda olumsuz yönde bir değişim gözlemlenmiştir. Aynı şekilde, (e) görselinde ise tahmin sonucunun sınıfında bir değişiklik olmadığı ancak tahmin puanlarında bir gerileme görülmüştür. Şekildeki diğer görsellerde tahmin sınıflarında bir değişiklik gözlemlenmemiş, tahmin puanlarında önemli farklar bulunmamıştır.

yapısal değil	yapısal değil	yapısal değil	yapısal değil	yapısal değil	yapısal değil
					
AlexNet yapısal değil 0.979	VGG-19 yapısal 0.990	AlexNet yapısal 0.990	VGG-19 yapısal 0.990	AlexNet yapısal 0.990	VGG-19 yapısal 0.980
VGG-19 yapısal değil 0.932	AlexNet yapısal 0.961	VGG-19 yapısal 0.990	AlexNet yapısal 0.990	VGG-19 yapısal 0.990	AlexNet yapısal 0.990
yapısal değil	yapısal değil	yapısal değil	yapısal değil	yapısal değil	yapısal değil
					
AlexNet yapısal değil 0.994	VGG-19 yapısal değil 0.953	AlexNet yapısal 0.990	VGG-19 yapısal 0.990	AlexNet yapısal değil 0.990	VGG-19 yapısal değil 0.746
VGG-19 yapısal değil 0.998	AlexNet yapısal değil 0.990	VGG-19 yapısal 0.990	AlexNet yapısal 0.989	VGG-19 yapısal değil 0.990	AlexNet yapısal değil 0.940

Şekil 10: AlexNet ve VGG19 modellerinin test veri setinin renk değişimine göre değerlendirilmesi.

#### 4. SONUÇ

Deprem sonrası güvenlik çalışmalarında hasar tespit süreçlerinin doğru ve hızlı sonuçlanması hem Türkiye’de hem de dünyada büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte, deprem sonrası hasar alan yapı sayısı ile hasar tespit uzmanlarının yönettiği ekiplerin sayıları arasındaki farkın fazla olması, güvenlik çalışmaları için problem oluşturmaktadır. Bununla birlikte, hasar tespit süreçlerinde öznel yorumlardan uzak, hızlı uygulanabilir bir yöntem olarak derin öğrenme tabanlı sınıflandırma algoritmaları son zamanlarda önem kazanmıştır. Bu nedenlerden dolayı bu çalışmada, ESA modellerinden AlexNet ve VGG19 modelleri kullanılarak deprem sonrası oluşan betonarme yapı hasarlarının yapısal olma ve yapısal olmama durumlarına göre sınıflandırılması amaçlanmıştır.

Yapılan eğitime baktığımızda, her iki modelinde katman sayıları haricinde kullanılmış olan konfigürasyonlarının aynı olması eğitim sonucundaki farklılıkta katman sayısının farklı olmasının etkisini göstermektedir. AlexNet modeli, eğitim süresince almış olduğu en yüksek doğruluk değeri %97.41(0.9741) olmuştur. Bununla birlikte VGG19 modeli eğitimini en yüksek %90.40(0.9040) doğruluk değeriyle sonlandırmıştır. Bu verilere ek olarak, AlexNet modeli en düşük 0.0760 (%7.60)kayıp puanı elde ederken, VGG19 modeli ise en düşük 0.2390 (%23.90) kayıp puanı elde etmiştir. Bu verilere baktığımızda, AlexNet modeli VGG19 modeline kıyasla hasarların yapısal olma ya da yapısal olmama durumuna göre sınıflandırma görevinde daha başarılı olmuştur. VGG19 modelinin en düşük kayıp puanı ile en yüksek kayıp puanı arasındaki farkın AlexNet modelinden az olması, modelin daha tutarsız olmaya yatkın olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte kayıp grafiğindeki eğitim ve doğrulama eğrilerinin birbirinden uzak oluşu, modelin ezberleme(overfitting) durumuna AlexNet modelinden daha yatkın olduğunu desteklemektedir. Bu durumun, test görsellerindeki tahmin puanlarında da benzer şekilde olduğu görülmüştür. Sınıf Aktivasyon Haritaları(SAH) süperpoze işleminde, test görsellerinin tetiklendiği örüntülerin hasarın

varlığı ile ilişkili olduğu gözlemlenmiştir. Bunun dışında, görsellerin tek kanallı oluşundan kaynaklanan tahmin sınıfındaki değişimler, diğer renk kanallarındaki bilgilerin hasarı sınıflandırmak için gerekli örüntüleri ve öznitelikleri içerdiğini göstermiştir.

Çalışmada kullanılan veri seti, elde etme yöntemlerine bağlı olarak sınırlı kalmıştır. Gelecek çalışmalarda, sonuçlardaki verimi artırmak amacıyla veri setinin büyütülmesi gerekmektedir. Bununla birlikte bu çalışmanın, güvenlik risklerinin olduğu afet sonrası hasar tespit sahalarında bu işlemlerin İnsansız Hava Araçları(İHA) yoluyla toplanmış verilerle denenmesi olumlu sonuçlar doğuracağı yazarlar tarafından öngörülmüştür.

## KAYNAKLAR

1. L. Zhang, B. Sun, Z. Jiang, B. Spencer, “A quantitative method for post-earthquake safety assessment of damaged reinforced concrete frames based on on-site survey data,” *Journal of Earthquake Engineering*, vol. 27, no. 11, pp. 3060–3088, 2023.
2. M. Yilmaz, G. Dogan, M. H. Arslan, A. Ilki, “Categorization of post-earthquake damages in rc structural elements with deep learning approach,” *Journal of Earthquake Engineering*, pp. 1–32, 2024.
3. B.Akgöz ,A.Baltacıoğlu, Ö.Civalek, K.Korkmaz,“Deprem hasarlarının hızlı tespitinde yapay sinir ağları yaklaşımı,” *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, vol. 1, no. 1, pp. 22–27, 2010.
4. A. T. Council, C. O. of Emergency Services, Addendum to The ATC-20 postearthquake building safety evaluaiton procedures. Governor’s Office of Emergency Services, 1995, vol. ATC-20-2.
5. Baggio et al., “Field manual for post-earthquake damage and safety assessment and short term countermeasures (aedes),” *European Commis- sion—Joint Research Centre—Institute for the Protection and Security of the Citizen*, EUR, vol. 22868, 2007.
6. Banon H., D. Venezio. “Seismic Safety of Reinforced Concrete Members and Structures.” *Earthquake Engineering & Structural Dynamics* 10 (2): 179–193, 1982.
7. C. M. Yeum, S. J. Dyke, J. Ramirez, “Visual data classification in post-event building reconnaissance,” *Engineering Structures*, vol. 155, pp. 16–24, 2018.
8. A. SENER, B. ERGEN, “Deprem sonrası bina yüzeylerinde meydana gelen çatlakların tespitinde sınıflandırma modellerinin karşılaştırılması,” *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, vol. 37, no. 4, pp. 899–910, 2022.
9. T. KARAÇAY, “Derin öğrenme ile beton yapılarda otonom çatlak tespiti,” *El Cezeri*, vol. 9, no. 2, pp. 607–624, 2022.
10. Y. Gao, K. M. Mosalam, “Deep transfer learning for image-based structural damage recognition,” *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, vol. 33, no. 9, pp. 748–768, 2018.
11. S. E. Park, S.-H. Eem, H. Jeon, “Concrete crack detection and quantification using deep learning and structured light,” *Construction and Building Materi- als*, vol. 252, p. 119 096, 2020.

## **PENCERELERE ENTEGRE İÇ ORTAM HAVA KALİTESİNİ DÜZENLEYEN BİR AKILLI HAVALANDIRMA CİHAZI**

Caner Göçer<sup>1</sup>  
İTÜ Mimarlık Fakültesi  
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

### **ÖZET**

*Dünyada son yıllarda binalarda iç ortam hava kalitesini artırmaya yönelik çeşitli cihazlar geliştirilmekte ve üretilmektedir. Bununla birlikte, iç ortamdaki sıcaklık, nem, ve çeşitli kirletici parametreleri sensörler vasıtasıyla algılayıp, riskli veya öncelikli parametreye göre çalışma sistemini ve hızını ayarlayabilen yazılıma sahip bir havalandırma cihazı 2021 yılına kadar piyasada mevcut değildi. Bu özelliklere sahip bir havalandırma cihazı ulusal bir firma tarafından 2018 yılından bugüne kadar geliştirilmekte; 2021 yılından itibaren üretilip, dünya genelinde kullanıcının hizmetine sunulmaktadır. Ulusal ve uluslararası patentleri bulunan cihaz dış duvarda herhangi bir kırım işlemi yapılmadan pencerelere entegre edilebilmektedir. Cihaz üzerinde bulunan sensörler, algoritmik yazılım, temiz ve kirli hava fanları vasıtasıyla iç mekanda konfor koşullarını sağlayacak hava sıcaklığı ve nem düzeyini ideal seviyeye ulaştırmakta ve insan sağlığını olumsuz yönde etkileyecek kirleticiler iç ortamdan dış ortama aktarılmaktadır. Cihazın kullanım sürecinde de firma tarafından ilgili parametre düzeylerinin aralıkları, fan çalışma süresi ve hızı yazılım algoritması uzaktan (bulut üzerinden) revize edilip güncellenebilmektedir. Bu çalışmada, geliştirilen cihazın genel yapısı, pencere doğraması ile entegrasyonuna ilişkin detayların tasarlanması, iklimsel parametrelerin belirlenmesi ve iklimsel parametrelere bağlı yazılım algoritmasının geliştirilmesine yönelik Ar-Ge Projesi kapsamında yürütülen test çalışmalarından bahsedilmektedir.*

*Anahtar sözcükler: Akıllı havalandırma cihazı, İç ortam hava kalitesi, Partikül madde, Uçucu organik bileşikler*

### **ABSTRACT**

*In recent years, various devices have been developed and produced around the world to improve indoor air quality in buildings. However, a ventilation device with software that could detect temperature, humidity, and various pollutant parameters in the indoor environment through sensors and adjust the operating system and speed according to the risky or priority parameter was not available until 2021. A ventilation device with these features has been developed by a national company since 2018; It has been produced since 2021 and is available to users worldwide. The device, which has national and international patents, can be integrated into windows without any damage to the external wall. The sensors on the device, algorithmic software, and fresh and dirty air fans ensure that the air temperature and humidity level is ideal to ensure comfort conditions in the indoor environment, and pollutants that will negatively affect human health are transferred from the indoor environment to the outdoor environment. During the use of the device, the ranges of the relevant parameter levels, fan operating time and speed software algorithm can be revised and updated remotely (via the cloud) by the company. In this study, the test studies carried out within the scope of the R&D Project for the general structure of the developed device, designing the details regarding its integration with window joinery, determining the climatic parameters and developing the software algorithm based on the climatic parameters are mentioned.*

*Key words: Smart ventilation device, Indoor air quality, Particulate matter, Volatile organic compounds*

<sup>1</sup> e-posta adresi: gocercan@itu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Sanayileşmiş ülkelerde bireyler, zamanlarının %90'ı iç mekanlarda, bireysel günlük zamanın çoğunluğu ise evde geçirmektedir [1, 2]. İç mekandaki hava kalitesi solunum ve kalp-damar hastalıkları, alerjiler, kanserler, akut zehirlenme ve erken ölümler de dahil olmak üzere birçok sağlık sorununu etkileyen önemli bir konudur [3, 4, 5]. Tüm yaş grupları arasında küçük çocuklar, solunum hızlarına ve yetişkinlere göre daha fazla kirletici maddeyi akciğerlerine kadar iletmeleri nedeniyle iç mekan hava kirliliğine karşı daha hassastır [6]. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), 15 yaşın altındaki çocukların %93'ünün, hava kalitesi kılavuzlarını aşan seviyelerde ince partikül maddeye maruz kaldığını bildirmiştir [7]. İnsan sağlığı açısından büyük bir endişe kaynağı olan iç mekan hava kalitesi, kullanıcı davranışlarından güçlü bir şekilde etkilenmektedir. Kullanıcılar genellikle maruz kaldığı kirletici maddelerin sağlık ve konforu nasıl etkilediğinin farkında değildir [8].

İç mekan kirliliği kaynakları sigara ve e-sigara içimi, gaz ve elektrikli pişirme cihazlarının kullanımı, ısıtma ve soğutma cihazları, temizlik ve tüketici ürünlerinden kaynaklanan kimyasallar, toz ve katı yakıtların (örn. odun ve kömür) kapalı alanda yakılması sonucunda oluşmaktadır. Partikül madde (PM), hava kirliliğinin katı parçacıklar ve sıvı damlacıkları içeren kısmıdır. PM boyut, şekil, sayı, yüzey alanı, çözünürlük, köken ve kimyasal bileşim bakımından farklılık gösterir ve doğrudan bir kaynaktan (birincil) salınan bileşenleri içerir. PM veya gaz fazındaki öncüllerin (ikincil PM) ikincil kimyasal reaksiyonları yoluyla oluşur [9, 10]. Gaz halindeki kirleticiler toplam uçucu organik bileşikler (TVOC), karbon monoksit (CO), karbondioksit (CO<sub>2</sub>), fenolformaldehit (HCHO) ve nitrojen oksitlerden oluşmaktadır [11, 12]. İç ortamdaki bazı kirletici etkenlerin yanısıra, sıcaklık ve nem düzeyi de mekanın fonksiyonuna göre kullanıcıların eylemlerini ideal seviyede yerine getirmesinde etkili parametrelerdir.

Son yıllarda dünya ölçeğinde iç ortam hava kalitesinin ölçümüne ve simülasyonuna bağlı verilerin değerlendirilmesi esasına dayanan birçok araştırma yapılmıştır. Araştırmaların çoğu konut ve eğitim binalarına ait mekanlardaki hava kalitesinin belirlenmesi ve iyileştirilmesine yöneliktir [13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25]. Bunlara ek olarak diğer kullanım fonksiyonuna sahip binaların da mekanlarındaki hava kalitesinin değerlendirilmesine yönelik araştırmalar mevcuttur [26, 27, 28]. Özellikle Covid 19 süreci ve sonrasında iç mekanda insan sağlığını olumsuz yönde etkileyecek etkenlerin varlığı üzerine toplumsal farkındalık seviyesi yükselmiştir.

Dünyada son yıllarda binalarda iç ortam hava kalitesini denetleyen ve düzenleyen, iç mekanda konumlandırılmış çeşitli cihazlar geliştirilip üretilmektedir. Bununla birlikte, iç ve dış ortam anlık iklimsel verilerini dikkate alarak iç ortam konfor koşullarını sağlayan, iç ortamdaki zehirli ve kirletici etkenleri sensörler vasıtasıyla algılayıp iç ortamdaki uzaklaştıran, risk durumuna ve yoğunluğa göre çalışma sistemini ve hızını ayarlayabilen, yapı dış kabuğuna entegre edilen bir havalandırma cihazı 2021 yılına kadar üretilmemiş durumdaydı. Ulusal bir firma girişimiyle ve çeşitli uzman ile akademisyenlerin de katkısıyla iç ortam hava kalitesini düzenleyen, pencere doğramasına entegre bir akıllı havalandırma cihazı 2018 yılından bugüne kadar geliştirilmekte; 2021 yılından itibaren üretilip, dünya genelinde kullanıcının hizmetine sunulmaktadır. Bu çalışmada, öncelikle iç ortam hava kalitesini etkileyen parametrelerin genel özellikleri ve uluslararası standartlara göre limit değerleri özetlenmiş; iç ortam hava kalitesini arttıracak tüm parametrelerin denetlemesi hedefiyle geliştirilen akıllı havalandırma cihazının genel özellikleri, pencere ile entegrasyonu ile çalışma performansına yönelik Ar-Ge Projesi kapsamında gerçekleştirilen test çalışmalarından bahsedilmektedir.

## 2. İÇ ORTAM HAVA KALİTESİ

Havada birçok tür ve oranda kirleticiler bulunmaktadır. Söz konusu kirleticilerin belirli bir seviyenin üzerine çıkması durumunda havanın yapısı bozulmaya başlar ve bu durum hava kirliliği olarak tanımlanmaktadır. Havadaki kirletici etkenlerin takip edilmesi, havanın yapısını insan sağlığını tehdit edecek derecede bozan durumların önlenmesi ve konfor koşullarının sağlanması bakımından önemlidir. Hava kirleticiler toz ve gaz olmak üzere genel olarak iki şekildedir. İç mekanda ve atmosfer koşullarındaki dış ortamda farklı kirletici kaynakları bulunmaktadır. Buna bağlı olarak çeşitli parametrelerin seviyelerine göre iç ve dış hava kalite indeks değerleri hesaplanmakta; iç ortamdaki kullanıcı ihtiyaçlarına bağlı olarak hava kalite indeksi sınır değerleri belirlenmektedir.

İç ortamlardaki kirlilik düzeyi kullanıcının eylem türüne, eylemlerin gerçekleşme süresine ve kişi sayısına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Dış ortamdaki kirlilik seviyesi de kirletici türü, etki düzeyi ve süresi ile ilişkilidir. İç ortam kirlilik düzeyi dış ortama göre ortalama üç kat daha yüksek bir düzeydedir. Bu durum iç ortamdaki havanın dış ortamdaki hava ile yer değiştirmesi hedefiyle bir havalandırmanın yapılması gereğini ortaya koymaktadır.

İç ortamdaki hava kalitesini denetleyen ve insan sağlığına olumsuz etkileri bulunan kirleticilerin seviyesini kabul edilebilir seviyeye düşürmeyi hedefleyen birçok cihaz geliştirilmiştir ve üretilmektedir. Söz konusu cihazların çalışma mekanizması iç ortamdaki kirleticilerin filtre vasıtasıyla absorbe edilmesi veya kirli havanın ortamdaki emilerek taze havanın ortama eklenmesi esasına dayanır. İç ortamdaki sıcaklık ve nem dengesini, zehirli ve kirletici etkenleri sensörler vasıtasıyla algılayıp iç ortamdaki dış ortama uzaklaştıran, riskli veya öncelikli parametreye göre çalışma sistemini ve hızını ayarlayabilen yazılıma sahip, pencerelere entegre bir havalandırma cihazı ulusal bir firma tarafından 2018 yılından bu yana geliştirilmekte ve 2021 yılından bu yana üretilmektedir. Geliştirilen cihaz üzerinde bulunan sensörler, yazılım ve fanlar vasıtasıyla iç mekanda konfor koşullarını sağlayacak hava sıcaklığı, nem düzeyi gibi parametrelerin ideal seviyeye ulaştırmakta; insan sağlığını olumsuz yönde etkileyecek kirleticileri iç ortamdaki dış ortama iletmektedir. Bu özelliklerin bir bütün olarak bünyesinde barındırması cihaza özgün bir değer katmaktadır. Bu çalışmada kapsam ve hedeflere bağlı olarak sadece iç ortamdaki kirletici kaynakları ve parametreleri ele alınmıştır. Bu kısımda söz konusu kirleticilerin özellikleri, kaynakları ve çeşitli standartlara göre kabul edilebilir sınır değerlerinden bahsedilmektedir.

### 2.1.İç ortamdaki kirletici parametreler

İç ortamda, toz ve gaz halinde bulunan parametreler Partikül madde (PM), karbon monoksit (CO), karbondioksit (CO<sub>2</sub>), uçucu organik bileşikler (VOC), ve fenolformaldehit olarak sıralanabilir.

Toz şeklindeki kirleticiler “partikül madde” olarak tanımlanmakta ve aerodinamik çaplarına göre sınıflandırılmaktadır. PM<sub>10</sub> olarak adlandırılan partiküller aerodinamik çapları 10 µm’den küçük olan, PM<sub>2,5</sub> olarak adlandırılan partiküller aerodinamik çapları 2,5 µm’den küçük olanlardır. Partikül kaynakları arasında fabrika, enerji tesisleri, yakma tesisleri, inşaat, mutfak ve trafikteki egzoz atıkları gibi toz ve diğer parçacıkları havaya yayan bina ve mekan türleri yer almaktadır. Sis, duman, toz gibi partiküllere ek olarak, bakteri, mantar, yosun gibi biyolojik kaynaklı partiküller de bulunmaktadır. İnsan burnundaki kıllar ve tüyler 10 µm’den büyük partikülleri filtreler. Ancak bu



çapın altındaki partiküller nefes yoluyla doğrudan akciğerlere yerleşir. 2,5 µm'den küçük parçacıklar akciğerde uzun süre kalarak çeşitli hastalıklara neden olabilir.

Gaz şeklindeki kirleticilerden nadir olarak görüleni, ancak insan sağlığını tehdit edecek derecede olanı karbonmonoksit gazıdır ve karbonlu yakıtların tam yanmaması sonucunda ortaya çıkar. Tatsız, renksiz ve kokusuz bir gaz olup, genellikle fark edilemeyen bir gazdır. Gaz zehirlenmesi ile sonuçlanan ölümler tam yanmamış artık gazların teneffüs edilmesi sonucunda oluşur. Kapalı mekânlardaki sigara dumanı ve araçların egzoz gazında az miktarda da olsa karbonmonoksit bulunur. İç ortamdaki karbondioksit insanların nefes alıp vermeleri ve sigara, yemek pişirme gibi gibi eylemlerin sonucunda oluşur. Normal koşullarda bir insan saatte 20 litre (0.02 m<sup>3</sup>) karbondioksit üretir. Ağır iş yapma veya hızlı yürümeye bağlı durumlarda bu oran 30 litreye kadar çıkmaktadır [29]. Nefes alma miktarı metabolizmaya, aktivite türü, yoğunluğu ve süresine bağlı olarak değişmektedir. İç ortam havalandırılmazsa ve insan sayısı artarsa karbondioksit miktarı konfor koşullarını ve insan sağlığını olumsuz yönde etkilemeye başlar. Uçucu organik bileşikler, yapılarında karbon ve hidrojen bulunan bir tür kimyasal gazdır. Çok çabuk buharlaşabilen bir özelliğe sahip olan uçucu organik bileşikler arasında en yaygın olanlar etilen, toluen, metil, kloroform, benzen, metilen klorür, oksilen ve klorobenzendir. Uçucu organik bileşikler, yarı uçucu organik bileşikler ve uçucu olmayan organik bileşikler olmak üzere üçfarklı türe sahiptir. Düşük kaynama sıcaklıkları nedeniyle iç ortam havasında buhar halinde bulunurlar. Sıcaklık ve havalandırma düzeyi uçucu organik bileşiklerin iç ortamdaki konsantrasyonunu belirler. Yapı malzemelerinden kaynaklanan VOC seviyesini azaltmak için iç ortam sıcaklığının 17-28°C mertebesinde olması gerekmektedir. Havalandırma oranı arttıkça iç ortamdaki VOC seviyesi de azalmaktadır [30]. Formaldehit çevrede en yaygın olarak bulunan bir tür uçucu organik bileşiktir. Uçucu organik bileşiklerin belirlenmesinde kullanılan gaz kromatografisi yöntemlerinden farklı bir yöntemle belirlendiği için ayrı bir kategoride ele alınır. Normal koşullarda, ideal ortam sıcaklığında formaldehit belirgin bir kokusu olan, renksiz bir gazdır. En yaygın formaldehit kaynakları, Normal oda sıcaklığında formaldehit keskin kokulu, renksiz bir gazdır. Formaldehitin başlıca kaynakları, kontraplaklar, reçineler, yapıştırıcılar ve döşeme kaplamalarıdır. Zemin kaplama malzemesi olarak laminant parkeler, iç ortamlarda hem uçucu organik bileşikler hem de formaldehit kaynaklarıdır. Yapılan araştırmalar, iç ortam sıcaklığının bu maddelere maruziyet seviyesinde önemli bir faktör olduğunu göstermiştir. Sıcaklığın 23 °C'den 40 °C'ye yükselmesiyle formaldehit maruziyet faktörünün 5,2 kat arttığı belirlenmiştir [30].

## 2.2.İç ortam hava kalitesine ait parametrelerin limit değerleri

İç ortamdaki konfor koşulları ile hava kalitesi seviyesini belirleyen sıcaklık, nem ve kirleticilere ait kabul edilebilir değerler bina kullanım fonksiyonuna, kullanıcı sayısına ve kullanıcının yaş düzeyine göre değişkenlik gösterebilir. Çeşitli standartlar ve yönetmelikler bu kriterlere göre bazı parametreler için farklı limit değerleri tanımlarken, bazı parametreler için ortak limit değerleri belirlenmiştir.

İç ortamdaki sıcaklık ve bağıl nem aralıklarının kabul edilebilir olması için kullanıcıların en az %90'ının kendini iyi hissetmesi gerekir. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki ASHRAE-62 2001 standartlarında, konforlu bir ortam için sıcaklık değerleri yaz-kış arasında değişiklik göstermekle birlikte, bağıl nem düzeyinin %30-60 arasında, sıcaklık değerlerinin 20-25,5°C arasında olması gerektiği belirtilmektedir [31]. Almanya'daki DIN-15251 2012 Normlarında bu değerler bağıl nem için %30-70 arasında, sıcaklık için 20-26°C arasındadır. %30'un altındaki bağıl nem göz, deri,

müköz membranlarda kurumaya neden olmakta; %60-70 oranının üzerindeki bağıl nem düzeyinde alerjiye neden olabilecek mikroorganizmaların çoğalmasa söz konusudur [32].

DSÖ iç ortamdaki günlük PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2,5</sub> sınır değerlerinin 50 µg/m<sup>3</sup> ve 25 µg/m<sup>3</sup> olması gerektiğini belirtmiştir. “Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Kurumu” (EPA) tarafından 2018 yılında yayınlanan "günlük hava kalitesinin raporlanması için teknik yardım esasları" konulu raporda insan sağlığı bakımından risk derecesine göre partikül madde değerlerinin aralıkları tanımlanmıştır. Çizelge 1’de PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2,5</sub> parametrelerinin ilgili sınır değerleri görülmektedir [33].

**Çizelge 1:** ABD Çevre Koruma Ajansı tarafından yayınlanan partikül maddelere ilişkin limit değerleri

partikül türü (24 saat ort.)	risk dereceleri					
	iyi	orta	hassas	sağlıksız	kötü	tehlikeli
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	0-54	55-154	155-254	255-354	355-424	425-604
PM <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	0-12	12,1-35,5	35,5-55,4	55,5-150,4	150,5-250,4	250,5-500,4

EPA tarafından iç ortamdaki karbonmonoksit gazına ilişkin üst sınır değeri 9 ppm’dir. Karbonmonoksit gazı 30 ppm’in üzerine çıktığında zehirleyici bir etki gösterir. İç ortamdaki CO<sub>2</sub> için EPA’nın belirlediği üst limit değeri 800 ppm’dir. DSÖ tarafından iç ortam CO<sub>2</sub> üst sınır değeri 1000 ppm olarak bildirilmiştir. Özellikle CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun 1000 ppm’i aştığı durumlarda kullanıcılarda konsantrasyon eksikliği meydana gelmekte; 1500 ppm üzerinde baş ağrısı, baş donmesi, halsizlik gibi rahatsızlıklar meydana gelmektedir. Havada 200 farklı uçucu organik bileşik türü bulunmaktadır. Çoğu sensör en sık görülen ve insan sağlığını etkileyen 15 farklı VOC türüne ait verinin ortalama değerini ölçmektedir. Formaldehit yaygın bir şekilde görüldüğü ve toplam uçucu organik bileşenlerden (TVOC) farklı bir yöntemle belirlendiği için ayrı bir sensörle ölçülmesi daha sağlıklı sonuçlar vermektedir. Özellikle endüstri tesislerinde iş sağlığı bakımından formaldehit seviyesi için dikkat edilmesi gereken esaslar vardır. EPA verilerine göre iç ortamda bulunması gereken en yüksek TVOC değeri 200 µg/m<sup>3</sup>, formaldehit değeri ise 20 µg/m<sup>3</sup>’dür.

Türkiye’de hava kalitesine ilişkin usul ve esaslar Avrupa Birliği çevre mevzuatına göre 6 Haziran 2008 tarih ve 26898 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan ve 2008 yılında yürürlüğe giren Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği’nde (HKDYY) yer almaktadır [34]. Bu yönetmelikte onbir farklı dış ortam kirletici parametresinin limit değerleri bulunmaktadır. Bunlara ek olarak, Avrupa Birliği tarafından tanımlanan hava kalitesi limit değerlerini entegre etmek amacıyla, 2013 yılında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından “Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Genelgesi” yayınlanmıştır. Bu genelgede, HKDYY ile belirtilen limit değerler sağlığın korunması için aşamalı olarak azaltılmıştır.

Türkiye’de iç hava kalitesi konusundaki çalışmalar 2001 yılında kurulan “İş Sağlığı ve Güvenliği Merkezi” vasıtasıyla yürütülmüştür. Sonrasında Avrupa Birliği’ne uyum çerçevesinde Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından yayınlanmış olan çeşitli yasa ve yönetmeliklerle kontrol altına alınmakla birlikte, henüz iç hava kalitesi standartları kapsamında belirlenmiş limit değerleri bulunmamaktadır.

### 3. İÇ ORTAM HAVA KALİTESİNİ DÜZENLEYEN CİHAZLAR

Hava temizleme endüstrisi son yıllarda artan talebe bağlı olarak üretimde büyüme kaydetmiştir. Artan satış rakamları mevcut cihazların filtre sistemlerinin ve yeni cihazların geliştirilmesinde itici bir rol oynamıştır. Özellikle Çin’de artan sanayileşmeye bağlı olarak iç ortam hava kalitesinin artırılması ve havanın temizlenmesi konularına odaklanan bir çok çalışma mevcuttur. İç ortam hava kalitesinin artırılması ve kontrol edilmesine yönelik olarak yapısı ve çalışma mekanizması farklı birçok ürün bulunmaktadır. Aşağıda söz konusu ürünlerin genel özellikleri ile çalışma şekli özetlenmiştir.

#### 3.1.Klimalar

Sadece iç ortamdaki hava sirkülasyonunu sağlayarak ısıtma ve soğutmayı gerçekleştirir. Klimalar iç-dış ortam arasında taze ve temiz hava geçişine olanak sağlamamaktadır. Bu nedenle klimaların hava temizleme fonksiyonu yoktur (Şekil 1a).

#### 3.2.HVAC Sistemleri

HVAC sistemleri yapının ısıtma, havalandırma, soğutma, nem alma veya kurutma gibi temel iklimsel ölçütlerin tümünü veya birkaçını kontrol eden, kanal ve borular ile dağıtım mekanizmasına sahip mekanik sistemlerdir (Şekil 1b). Bir HVAC sistemi bir veya birkaç farklı iklimsel parametreyi kontrol edebildiği gibi, sistemler arasında destek ve servis sağlayıcı olarak da çalışabilir. Günümüzde HVAC sistemleri;

- Çok veya tek üniteli bireysel paket sistemler (pencere tipi, oda tipi, gizli tavan tipi, kanal tipi, çatı tipi paket klima ve bölünmüş split klima sistemleri),
- Havalı sistemler (tek kanallı sabit hava debili, tek kanallı değişken hava debili, ve çift kanallı tek zonlu veya çok zonlu sistemler),
- Havalı-sulu sistemler (air-water),
- Sulu sistemler (fan-coil) olmak üzere dört farklı çalışma mekanizmasına sahiptir [35].

#### 3.3.Nem Alıcılar-Nem Vericiler

“Dehumidifier” olarak adlandırılan nem alıcılar ve “humidifier”olarak adlandırılan nem vericiler iç ortamda sadece nem dengesini düzenlemektedir. Diğer kirleticilerin de etkili olduğu hava kalitesini düzenleme fonksiyonu yoktur (Şekil 1c).

#### 3.4.Hava Temizleyiciler

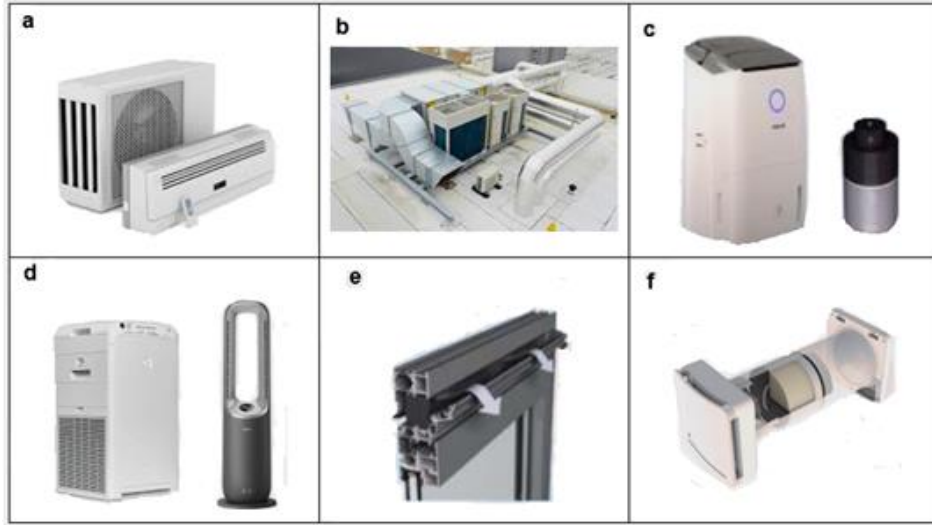
“Air purifier” olarak adlandırılan bu cihazlar klima gibi iç ortamdaki hava sirkülasyonunu sağlayarak bir filtreden geçirir. İç-dış ortam arasında taze ve temiz hava alışverişini gerçekleştirmediği için gaz ve kimyasallara müdahale etmez. Bu tür cihazlarda partikül madde ve karbondioksit filtreden geçirilmektedir. Ancak filtreleme sonrası iç ortama karbondioksit tekrar nüfuz edebilmektedir (Şekil 1d). Bu tür cihazlar iç ortamdaki havadaki partikülleri hepafiltrede toplayarak havayı saflaştırmayı sağlar ve daha rahat bir nefes alıp verme imkanı sunar. Karbondioksiti oksijene dönüştürme gibi bir fonksiyonu olmadığı için, havanın temizlenmesini sağlamaz.

### 3.5.Menfezli Sistemler

Menfezli sistemler ile sadece iç ve dış ortamdaki havanın birbiriyle yer değiştirmesi sağlanır. Sistem manuel olarak aktif hale getirilerek çalışır. Dış ortamdaki havada bulunan toz ve polen doğrudan iç ortama girer. Soğuk ve sıcak havalarda ideal iç ortam sıcaklık düzeyi sistem açıkken olumsuz etkilenir (Şekil 1e).

### 3.6.Çift Yönlü Havalandırma Cihazları

Dış duvara delik açılarak montajı gerçekleştirilen bu cihazlarda tek bir havalandırma fanı çift yönlü olarak çalışır. Bu özelliğiyle cihaz içerideki kirli havanın dışarı atılması veya dışarıdan taze havanın iç mekana iletilmesini sağlar. Çoğu üründe içerideki sıcak havanın dışarı atılması esnasında gözenekli seramik içerisinden geçen sıcak iç ortam havası seramiği ısıtmakta, dışarıdan gelen hava ısınan seramik tarafından ısıtılarak iç mekana iletilir. “Isı geri kazanımlı” olarak adlandırılan bu sistem sayesinde kış aylarında dış ortamdaki soğuk havanın iç mekana geçişi sırasında ısıtılan hava iç ortama aktarılır. Bazı ürünlerde nem sensörü vasıtasıyla iç-dış nem dengesi de havalandırma sayesinde sağlanır. Bu özelliklerinin yanında hazır dış cephe kaplamasının delinmemesi gerektiği veya cephede delik açmanın yasak olduğu durumlarda montajın gerçekleştirilememesi, temiz hava girişi ile kirli hava çıkışının iç mekan kısmında aynı açığa sahip olacak şekilde olması, iç ortamdaki diğer kirleticileri ölçen ve otomatik bir şekilde cihazın çalışmasını sağlayan algoritmanın olmaması bu tür cihazların eksik yönleridir (Şekil 1f).



Şekil 1: Dünyada üretilmekte olan çeşitli havalandırma cihazları ve mekanizmaları

## 4. AKILLI HAVALANDIRMA CİHAZI

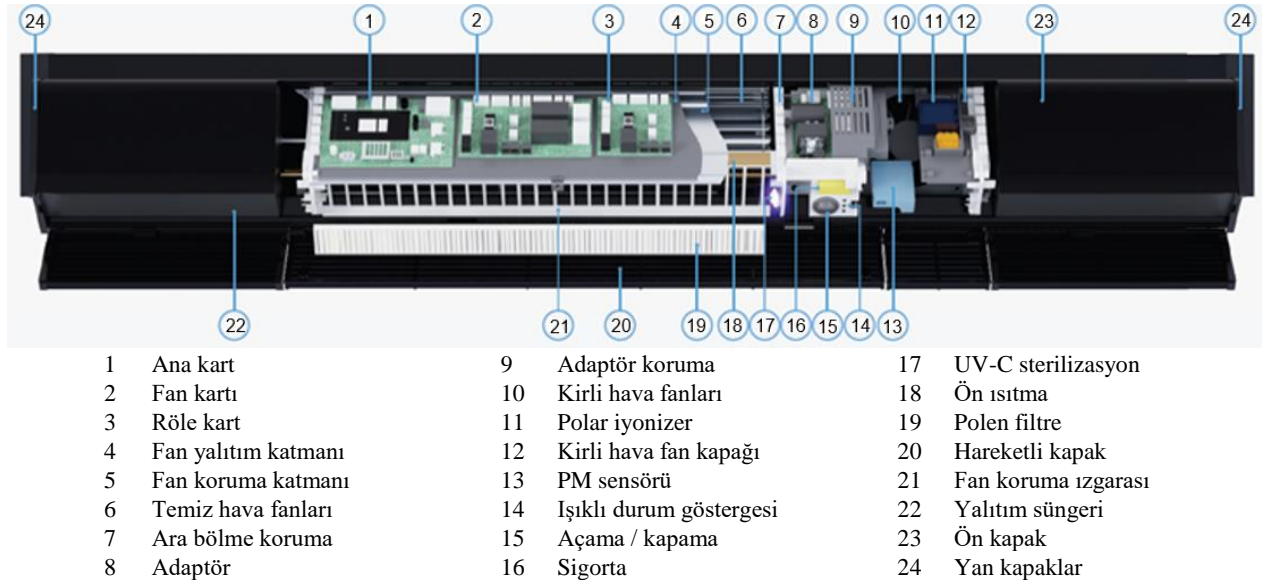
### 4.1. Cihazın Yapısı

Yukarıda özellikleri ve yapısı özetlenen mevcut cihaz seçenekleri temel özellikleri itibarıyla iç ortam hava kalitesinin sağlanmasına kısmen katkıda bulunsa da, daha bütüncül bir şekilde konfor koşullarını sağlayan, tüm parametreleri ölçen, ideal seviyeye gelmesine yönelik aktive olan ve

birbiriyle çatışan parametreler olduğunda öncelik sırasına göre optimizasyonu sağlayan yazılım algoritmasına sahip bir ürünün bulunmayışı ulusal bir firma tarafından bu özelliklere sahip bir cihazın geliştirilmesi konusunda girişime neden olmuştur. Bu doğrultuda araştırma-geliştirme ve prototip üretim çalışmaları 2018 yılında başlamıştır. Şekil 2’de üç boyutlu yazıcı ile cihaz gövdesinin üretildiği prototip görülmektedir. Ulusal ve uluslararası patentleri bulunan cihazın birkaç yıl önce üretimine ve dünya genelinde satışına başlanmıştır. Cihaz üzerinde bulunan sensörler, algoritmik yazılım, temiz ve kirli hava fanları vasıtasıyla iç mekanda konfor koşullarını sağlayacak hava sıcaklığı ve nem düzeyini ideal seviyeye ulaştırmakta ve insan sağlığını olumsuz yönde etkileyecek kirleticiler iç ortamdan dış ortama aktarılmaktadır. Cihazın yapısını oluşturan temel bileşenlerin konumu ve isimleri Şekil 3’de görülmektedir. Cihazın kullanım sürecinde de firma tarafından ilgili parametre düzeylerinin aralıkları, fan çalışma süresi, hızı ve yazılım algoritması uzaktan (bulut üzerinden) revize edilip güncellenebilmektedir. Bu özellik cihazın etkin çalışmasına yönelik araştırma ve geliştirme faaliyetleride elde edilen verilere bağlı olarak yazılımdaki algoritmanın revize edilip güncellenmesine olanak tanımaktadır. Söz konusu güncelleme kullanımdaki cihazlar üzerinde de yapılabilmektedir. Bu olanak iklim değişikliğine bağlı olarak ilerleyen süreçte gerekli güncellemelerin de gerçekleştirilmesini mümkün kılacaktır.

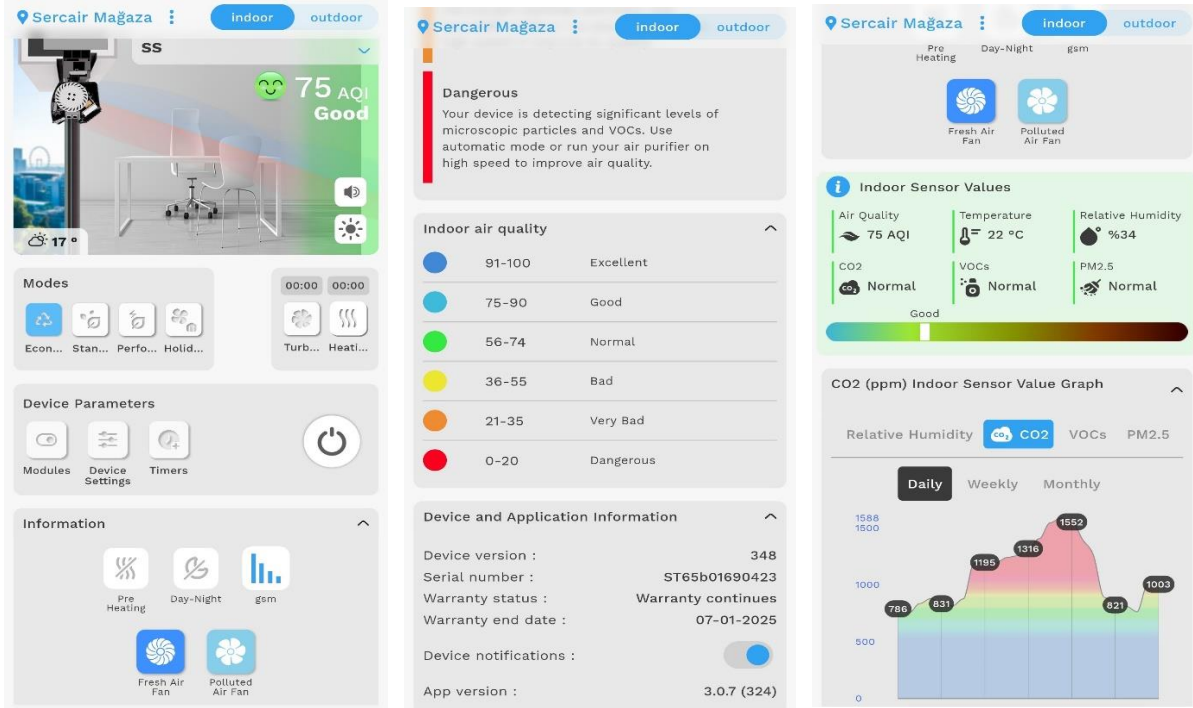


Şekil 2: Cihazın bileşenlerin bulunduğu prototip



Şekil 3: Cihazın temel bileşenleri

Cihazın yazılım algoritması iç ve dış ortamdaki sıcaklık ve nem düzeyi ile zehirli ve kirleticilerin seviyesinin ölçüm verilerine bağlı olarak iç ortam hava kalitesinin kontrolü ve sağlıklı düzeye gelmesini sağlamaya yönelik düzenlenmiştir. İlgili yazılım ölçülen çeşitli parametre verilerini ve iç-dış hava kalite indeks değerleri dikkaate alarak temiz ve kirli hava fanlarının çalışma hızını ve süresini belirlemektedir. Cihazın pencereye montajı bünyesindeki yetkili teknik servis tarafından yapılmaktadır. Mekanik kurulumunun ardından “Sercair App” uygulaması üzerinden cihaz aktivasyonu yapılır ve kullanıcının cep telefonuna kurucu hesap tanımlanır. Cihazın uygulamaya kurulumu ardından kullanıcı hava kalitesi ekranlarına geçiş yapabilir. Cihazın açılıp kapatılması, iç hava kalite indeksine göre çalışma modu seçimi bu ekranlardan izlenebilir ve yönetilebilir. Kullanıcı “eko”, “standart” ve “performans” olmak üzere üç farklı çalışma modundan birisini tercih edebilir ve iç mekandaki parametrelerin ideal seviyeye gelme süresini belirleyebilir. Kullanıcı iç ve dış ortamdaki ilgili tüm parametrelere ilişkin anlık, haftalık ve aylık değerleri uygulama tarafından oluşturulan grafikler üzerinden takip edilebilmektedir (Şekil 4).

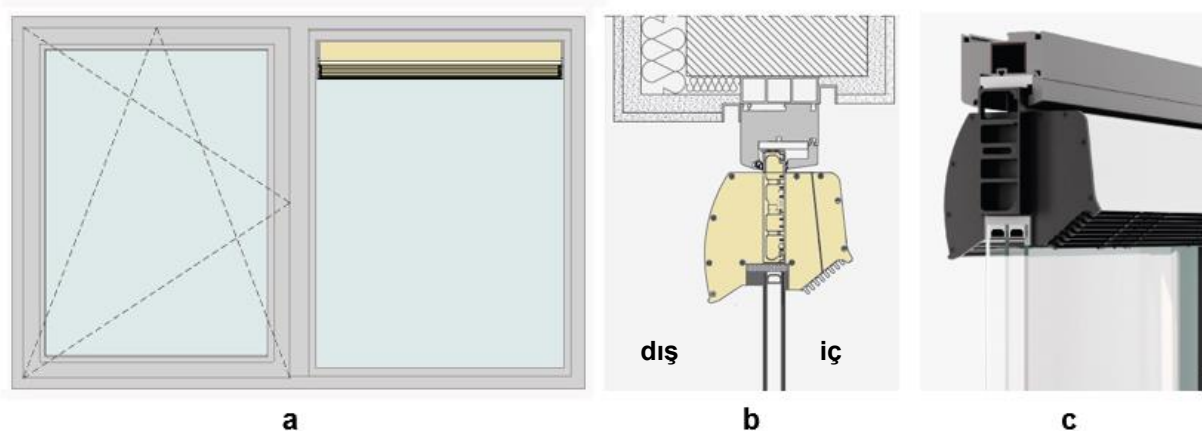


Şekil 4: Cep telefonuna yüklenen “Sercair App” uygulaması üzerinden cihazın kontrol olanakları, iç hava kalite indeksine ilişkin skala, ilgili parametrelerin seviyesi ve iç ortamdaki günlük CO<sub>2</sub> miktarının değişimine ilişkin bir grafik örneği

## 4.2. Cihaz - Pencere Entegrasyonu

Cihaz dış duvarda herhangi bir kırım işlemi yapılmadan pencere üst kısımlarına genellikle yatay konumda entegre edilebilmektedir (Şekil 5). Montaj sürecinde öncelikle pencere camı üst kısmından cihazın yerleşeceği kadar kesilerek iki cam arasında sızdırmazlığı sağlayan kalafatlama yapılır. Daha sonra cihazın güç sağlayıcı kablosu pencere düşey kasasının içerisinden geçirilir. Cihazın alt kısmındaki contalı ve kauçuk köpük dolgulu girintisine çift cam yerleştirilir. Cihazın üst kısmındaki çıkıntılı kısım pencerenin yatay contalı kauçuk köpük dolgulu kasasına yerleştirilerek sızdırmaz birleşimli montaj tamamlanır (Şekil 6). Aynı uygulama pencerenin kanat

kısmına da uygulanabilmektedir. Üçlü cama sahip pencerelerde ilgili cihazın entegre olabileceği boşluk bırakılmıştır. Çift camlı pencerelerde oluşan boşluk kauçuk dolgu bileşeni ile doldurulur.



Şekil 5: Cihazın pencere ile entegrasyonuna ilişkin a) görünüş, b) kesit, c) perspektif çizimi

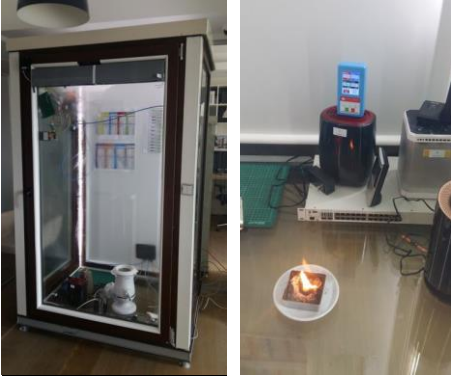


Şekil 6: Cihazın pencerelere montaj aşamaları

## 5. AR-GE FAALİYETLERİ KAPSAMINDA GERÇEKLEŞTİRİLEN TESTLER

16.04.2018 - 16.04.2019 tarihleri arasında İTÜ Döner Sermaye İşletmesi Müdürlüğü, 2009613 iş numaralı, Doç. Dr. Caner Göçer tarafından “Pencere doğramasına entegre akıllı havalandırma cihazının geliştirilmesi” konulu yürütülecek danışmanlık sözleşmesi imzalanmıştır. Danışmanlık hizmeti kapsamında iç mekanı temsil eden 2 m<sup>3</sup> hacminde çift cam çerperleri olan bir kabin üzerine takılan cihaz üzerinde çeşitli çalışmalar ve testler gerçekleştirilmiştir. Kabin üzerinde yapılan çalışmalar cihazın verimli bir şekilde çalışmasına ve çeşitli performans ölçütlerine göre değerlendirmesine yöneliktir. Bu kapsamda birim zamanda kabin içerisinde oluşturulan kirletici ve nem parametrelerin tahliye hızı verilerine bağlı olarak kirli ve temiz hava fanlarının performans düzeyini geliştirme konusunda atılacak adımlar belirlenmiştir. Şekil 7’de kabine entegre havalandırma cihazı ve iç düzenek görülmektedir.

Kabin ortamındaki test verilerine göre fan hızı, sayısı ve geometrik özellikleri bakımından üretilen prototipler üzerinden cihazın bileenleri geliştirilmiştir. İç ortam parametrelerinin ideal seviyede sağlanmasına yönelik cihazın etkin bir şekilde çalışmasını sağlayacak yazılım algoritmasını geliştirmek amacıyla atmosfer ile iç mekanı birbirinden ayıran yapı kabuğu üzerinde testlerin gerçekleştirilmesine karar verilmiştir. Buna bağlı olarak 26 Şubat 2016 gün ve 29636 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “6676 sayılı araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin desteklenmesi hakkında kanun ile bazı kanun ve kanun hükmünde kararnamelerde değişiklik yapılmasına dair kanun” kapsamında pencere doğrama sistemlerine entegre edilecek “yeni nesil akıllı havalandırma cihazının tasarlanması, geliştirilmesi ve üretilmesi” konulu çalışmada “Üniversite-Sanayi işbirliği” kapsamında “araştırma ve geliştirme, tasarım ve yenilik projeleri” çerçevesinde İstanbul Teknik Üniversitesi ve ilgili Firma arasında imzalanan ve yürütücülüğünü Doç. Dr. Caner Göçer’in üstlendiği bir Ar-Ge Projesi kapsamında ilgili test çalışmalarına başlanmıştır. Çalışma kapsamında dış ortamda 10 m<sup>3</sup> hacimli ve ısı yalıtımlı iki adet test odası inşa edilmiştir. Pencereleri kuzeybatı doğrultusunda konumlandırılmış test odalarının birisi cihazlı, diğeri cihazsız (referans mekan) olacak şekilde düzenlenmiştir. Söz konusu test kabinleri Şekil 8’de görülmektedir. Eşit şartlarda karşılaştırma yapabilmek için test odaları aynı saydamlık oranına ve yapı kabuğu katmanlaşma modeline sahiptir.



Şekil 7: Kabine entegre havalandırma cihazı ve iç düzenek



Şekil 8: Test düzenegi (1. Test odası: cihazlı, 2. Test odası: cihazsız, referans mekan)

Test kapsamında eşit şartlardaki her iki mekanda aynı anda, aynı etki düzeyi ile aşağıdaki eylemler “sigara içilmesi”, “yemek pişirilmesi (tavuk kızartma)” ve “temizlik yapılması” şeklindedir. Bu eylemlere bağlı olarak ölçülen kirleticiler karbondioksit (CO<sub>2</sub>), partikül madde (PM<sub>2,5</sub>) ve uçucu organik bileşiklerden (VOC) oluşmaktadır. Test çalışmalarında cihaz için geliştirilmiş “eko”, “standart” ve “performans” modlarının yanı sıra, kirli ve temiz hava fanlarının farklı çalışma modlarına göre çeşitli kirleticilere ilişkin ölçümler yapılmıştır. Buna göre testleri gerçekleştirilen cihazın farklı çalışma modları ve fan hızları aşağıdaki gibidir (kodlamalarda, K: kirli hava fanı, T: temiz hava fanı, rakamlar: fanın çalışma yüzdesini göstermektedir). Yüzdelik hız bakımından testleri gerçekleştirilecek temiz ve kirli hava fanlarının kombinasyonu Çizelge 2’de görülmektedir. Her iki test odasının iç ortamında farklı yükseklikte iki adet sensör bulunmaktadır. Alt kattaki sensör ortalama boya sahip bir insanın oturma pozisyonundaki burun yüksekliği, üst kattaki sensör ortalama boya sahip bir insanın ayaktaki pozisyonuna ilişkin burun yüksekliğinde konumlandırılmıştır.



Her kirletici için çeşitli fan hızlarına göre gerçekleştirilen test verilerine ilişkin 145 adet grafik oluşturulmuştur. Bu veriler cihazın hangi kirletici için hangi modda etkin çalışacağına yönelik olarak algoritmanın geliştirilmesine katkıda bulunacaktır. Çok sayıdaki test verilerinin sunulması ve değerlendirilmesi karmaşık ve uzun bir konu olduğu için bu çalışmada kapsam dışı tutulmuştur.

**Çizelge 2:** Fanların farklı çalışma modu ve hızına göre gerçekleştirilecek testlerin kombinasyonuna ilişkin kodlar

EKO: (Eko mod)	K30T30
STD: (Standart mod)	K0T50
PRF: (Performans modu)	K50T0
K0T16	K50T50
K16T0	K0T85
K16T16	K85T0
K0T30	K85T85
K30T0	RM: (Referans mekan, cihazsız, 2 nolu kabin)

## 6. SONUÇLAR

Son yıllarda, özellikle Covid 19 süreci ve sonrasında iç mekanda insan sağlığını olumsuz yönde etkileyebilecek etkenlerin varlığı konusunda toplumsal farkındalık seviyesi yükselmiştir. Bu doğrultuda Dünya Sağlık Örgütü ve diğer uzmanların tavsiyelerine de bağlı olarak bina kullanıcıları tarafından konforlu ve sağlıklı iç ortamın oluşturulmasına katkı sağlayacak ürünlere yönelik yoğun bir talep söz konusudur. Binalarda iç ortam hava kalitesini artırmaya yönelik Dünya ölçeğinde son yıllarda çeşitli cihazlar geliştirilmekte ve üretilmektedir. Genel olarak klimalar, HVAC sistemleri, nem alıcı&veriviler, hava temizleyiciler, menfezli sistemler ve çift yönlü havalandırma cihazları iç ortamdaki bazı parametrelerin değerini ölçerek veya ölçmeden kendine özgü çalışma mekanizmasıyla hava kalitesini kısmi olarak iyileştirmektedir. İç ortamdaki sıcaklık, nem, ve çeşitli kirleticileri sensörler vasıtasıyla algılayıp, riskli veya öncelikli parametreye göre çalışma sistemini ve hızını ayarlayabilen yazılıma sahip bir akıllı havalandırma cihazı ulusal bir firmanın girişimciliğinde geliştirilmekte ve üretilmektedir. Geliştirilen ürünün duvarda herhangi bir kırım işlemi yapılmadan mekan bazında pencerelere kolayca monte edilebilir olması kullanıcı açısından avantajlı bir durumdur. Şu ana kadar gerçekleştirilen ve gelecekte gerçekleştirilecek test verilerine bağlı olarak cihazın kullanım sürecinde de firma tarafından ilgili parametrelere göre kirli ve temiz hava fanlarının çalışma süresi ve hızına yönelik yazılım algoritması uzaktan, bulut üzerinden revize edilip güncellenebilecektir. İklimle uyumlu, dijitalleşme konusunda güncel teknolojinin olanaklarının kullanıldığı bu yaklaşım yenilikçi bir yaklaşım olup, bu konuda geliştirilecek yeni ürünler için örnek bir model teşkil etmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bahsedilen Ar-Ge Projesi kapsamında gerçekleştirilen testler için gerekli altyapı olanaklarını sağlayan, cihazın üreticisi Sercair Firması'na teşekkürlerimi sunarım.

## KAYNAKLAR

1. G. Settimo, M. Manigrasso, P. Avino, “Indoor air quality: a focus on the european legislation and state-of-the-art research in Italy”. *Atmosphere*, **11**, (2020), pp: 370.
2. P. Rajagopalan, N. Goodman, “Improving the indoor air quality of residential buildings during bushfire smoke events”. *Climate*, **9**(2), (2021), pp:32.
3. A. Asikainen, P. Carrer, S. Kephelopoulos, O. Fernandes, P. Wargocki, and O. Hanninen, “Reducing burden of disease from residential indoor air exposures in Europe (HEALTHVENT project)”, *Environ Health-Glob* **15** (2016), pp:35.
4. C. Billonnet, E. Gay, S. Kirchner, B. Leynaert, A. I. Maesano, “Quantitative assessments of indoor air pollution and respiratory health in a population-based sample of French dwellings”. *Environmental Research* **111**, (2011) 111: pp:425–434.
5. S. Vardoulakis, E. Giagloglou, S. Steinle, A. Davis, A. Sleuwenhoek, K. S. Galea, K. Dixon, J. O. Crawford, “Indoor exposure to selected air pollutants in the home environment: a systematic review”. *Int J Environ Res Public Health* **17**, (2020) pp:8972.
6. M. J. Mendell, G. A. Heath, “Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance?” A critical review of the literature, *Indoor Air*, **15**(1), (2005), pp: 27–52.
7. W.H. Organization, *Air Pollution and Child Health: Prescribing Clean Air*, (2018).
8. E. Caracci, L. Canale, G. Buonanno, L. Stabile, “Effectiveness of eco-feedback in improving the indoor air quality in residential buildings: Mitigation of the exposure to airborne particles”, *Building and Environment*, **226**, (2022), pp:109706.
9. K. L. Abdullahi, J. M. Delgado-Saborit, R. M. Harrison, “Emissions and indoor concentrations of particulate matter and its specific chemical components from cooking: a review”. *Atmospheric Environment* **71**, (2013), pp: 260–294.
10. L. Morawska, G. A. Ayoko, G. N. Bae, G. Buonanno, C. Y. H. Chao, S. Clifford, S. C. Fu, O. Hanninen, C. He, C. Isaxon, M. Mazaheri, T. Salthammer, M. S. Waring, and A. Wierzbicka, “Airborne particles in indoor environment of homes, schools, offices and aged care facilities: the main routes of exposure”. *Environ Int*, **108**, (2017), pp: 75–83.
11. S. Langer, O. Ramalho, M. Derbez, J. Rib’eron, S. Kirchner, and C. Mandin, “Indoor environmental quality in French dwellings and building characteristics”. *Atmospheric Environment*, **128**, (2016), pp: 82–91.
12. M. E. H’eroux, N. Clark, K. Van Ryswyk, R. Mallick, N. L. Gilbert, I. Harrison, K. Rispler, D. Wang, A. Anastassopoulos, M. Guay, M. Macneill, and A. J. “Wheeler, Predictors of indoor air concentrations in smoking and non-smoking residences”. *Int J Environ Res Public Health* **7**, (2010), pp: 3080–3099.
13. C. K. Byung, T. K. Gil, I. Dongkyun, “Evaluation of the impact of installation environment for a condensing unit of a split-type air conditioner in a plant room of Korean apartment dwellings” *International Journal of Refrigeration* **156**, (2023), pp:207–218.
14. Z. Xiaojing, Z. Caixia, Z. Tianyang, X. Jingchao, L. Jiaping, Z. Nan, “Association of indoor temperature and air quality in classrooms based on field and intervention measurements”. *Building and Environment*, **229**, (2023), pp: 109925.
15. J. S. Young, C. P. Zachary, P. Jovan, “Perceived air quality and satisfaction during implementation of an automated indoor air quality monitoring and control system” *Building and Environment*, **243**, (2023), pp: 110713.
16. K. Sihyeon, K. Kyungmo, P. Dongjun, K. Taeyeon, “Assessment of PM2.5 penetration based on airflow paths in Korean classrooms” *Building and Environment*, **248**, (2024), pp: 111103.
17. M. Constanza, J. Benjamin, O. Catherine, “Leary Investigating methods to quantifying uncertainty in PM2.5 emission rates from cooking by toasting bread” *Building and Environment*, **248**, (2024), pp: 111106.

18. N. Tikul, A. Hokpunna, P. Chawana, "The effect of horizontal elements and building orientation on PM2.5 concentration in classrooms" *Frontiers of Architectural Research*, **12**, (2023), pp: 775e787.
19. L. Chatzidiakou, D. A. Mumovic, "Summerfield, Is CO<sub>2</sub> a good proxy for indoor air quality in classrooms? Part 2: Health outcomes and perceived indoor air quality in relation to classroom exposure and building characteristics" *Building Serv. Eng. Res. Technol.*, **36**(2), (2015), pp: 162–181.
20. M. S. N. Tak, A. Bhattacharya, A. R. Metcalf, E. Mousavi, "Cleanroom air quality: combined effects of ventilation rate and filtration schemes in a laboratory cleanroom", *Building Research & Information*, **51**(6), (2023), pp: 717-729.
21. F. Liu, A. C. Richards, K. I. K. Wang, K. N. Dirks, "Critical indoor environmental factors affecting productivity: perspectives from university staff and postgraduate students", *Building Research & Information*, **51**(6), (2023), pp: 730-745.
22. W. S. Dols, S. J. Emmerich, B. J. Polidoro, "Using coupled energy, airflow and indoor air quality software (TRNSYS/CONTAM) to evaluate building ventilation strategies". *Building Services Engineering Research and Technology*. **37**(2), (2016), pp:163-175.
23. S. E. Gilbey, C. M. Reid, Y. Zhao, M. J. Soares, K. B. Rumchev, "Factors affecting indoor environmental air quality of non-smoking residences in Perth, Western Australia". *Indoor and Built Environment*. **32**(5), (2023), pp: 961-976.
24. J. Taylor, A. Mavrogianni, M. Davies, P. Das, C. Shrubsole, P. Biddulph, E. Oikonomou, "Understanding and mitigating overheating and indoor PM<sub>2.5</sub> risks using coupled temperature and indoor air quality models". *Building Services Engineering Research and Technology*. **36**(2), (2015), pp: 275-289.
25. A. Kabanshi, B. Yang, P. Sörqvist, M. Sandberg, "'Occupants' perception of air movements and air quality in a simulated classroom with an intermittent air supply system. *Indoor and Built Environment*. **28**(1), (2019), pp: 63-76.
26. De-G. J. Opoku, S. Perera, R. Osei-Kyei, M. Rashidi, K. Bamdad, T. Famakinwa, "Digital twin for indoor condition monitoring in living labs: University library case study" *Automation in Construction*, **157**, (2024), pp: 105188.
27. S. A. Abdul-Wahab, N. Salem, S. Ali, Evaluation of indoor air quality in a museum (Bait Al Zubair) and residential homes". *Indoor and Built Environment*. **24**(2), (2015), pp: 244-255.
28. K.W. Mui, W.Y. Chan, L.T. Wong and P.S. Hui, "Fungi an indoor air quality assessment parameter for air-conditioned offices", *Building Serv. Eng. Res. Technol.* **28**(3), (2007), pp: 265–274.
29. H. Bulut, (2011). "Havalandırma ve İç Hava Kalitesi Açısından CO2 Miktarının Analizi". X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, pp: 1679-1689.
30. B. Alyüz, S. Veli, "İç Ortam Havaında Bulunan Uçucu Organik Bileşikler Ve Sağlık Üzerine Etkileri". *Trakya Univ J Sci*, **7**(2), (2006), pp: 109–116.
31. ASHRAE, Standard 62- 2001- "Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality", American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, (2001).
32. Deutsche Norm DIN EN 15251: 2012-12. "Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics". Berlin: Beuth Verlag GmbH.
33. EPA (2001), Case Study Two: EPA's Research Triangle Park Laboratory Facility
34. "Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yonetimi Yonnetmeliği. Resmi Gazete, 2008 <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/06/20080606-6.htm> (Erişim tarihi: 12.02.2024).
35. U. ÖZCAN, "Yapıda HVAC Sistem Seçimi", *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* **23**(1), (2019), pp: 212-217.

## **BİNA CEPHE EĞİMİNİN ISITMA VE SOĞUTMA YÜKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Ebru Yüksel Meydanal <sup>1</sup>

Gülten Manioğlu <sup>2</sup>

İTÜ Mimarlık Fakültesi Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

### **ÖZET**

*Kullanıcılar için gerekli olan konfor koşullarının, pasif sistemlerden faydalanarak ve minimum enerji harcaması ile sağlanması, enerji etkin tasarım için öncelikli hedeflerdendir. Pasif tasarım parametrelerinden olan bina formunun geometrik bir özelliği olan cephe eğimi bina kabuğuna gelen direkt güneş ışınım miktarını değiştirerek, binanın ısıtma ve soğutma yükleri üzerine etkisinin incelenmesi önemli bir konudur. Bu etkinin incelenmesi amacıyla Türkiye'nin aynı derece gün bölgesinde bulunan İstanbul ve Diyarbakır illeri için farklı cephe eğimlerine sahip binaların ısıtma ve soğutma yüklerinin değerlendirilmesi hedeflenmiştir. A/V ( toplam dış yüzey alanı / bina hacmi) oranı aynı olacak şekilde, saydam bileşenin bulunduğu cephenin alanı sabit tutulup, eğimi değiştirilerek 5 farklı bina formu oluşturulmuştur. Tek hacimden oluşan binada saydamlık oranı için 8, yönlendirme için ise 8 farklı seçenek önerilmiş ve hacimler EnergyPlusTM 9.0.1 adlı bina enerji simülasyon programı yardımıyla karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Cephe eğimi, saydamlık oranı ve yön değişimine bağlı olarak eğimli cepheye gelen güneş ışınım miktarının değişimine bağlı olarak farklı cephe eğimlerine sahip olan tek hacimli binaya ait ısıtma ve soğutma yüklerinin sonuçları değerlendirilmiştir. Cephe eğim açısına bağlı olarak en düşük toplam enerji yüklerinin gerçekleştiği seçeneğin, en yaygın uygulama olan cephenin yer düzlemi ile dik (90°) olması durumu ile karşılaştırılmıştır. Pasif tasarım kriterlerinden olan cephe eğimi ile toplam enerji yüklerinin azaltılabileceği sonucuna varılmıştır.*

*Anahtar sözcükler: Enerji tüketimi, Cephe eğimi, Enerji verimliliği*

### **ABSTRACT**

*Ensuring user comfort through passive systems while minimizing energy consumption is a primary objective in energy-efficient design. Facade inclination, a significant passive design parameter, directly impacts the amount of solar radiation penetrating the building envelope, thus influencing its heating and cooling loads. This study focuses on evaluating the heating and cooling loads of buildings with varying facade inclinations in Istanbul and Diyarbakir, both located in the same degree-day region in Turkey. Five distinct building forms were generated by altering the facade inclination while maintaining a constant aspect ratio (total exterior surface area / building volume). Utilizing the EnergyPlusTM 9.0.1 building energy simulation program, the heating and cooling loads of single-volume buildings with different facade inclinations were assessed. Results were based on variations in solar radiation incident on the inclined facade, considering changes in facade inclination, transparency ratio, and orientation. The energy loads of the option with the lowest total were compared to the conventional practice of perpendicular facades (90°) to the ground plane. It was concluded that adjusting facade inclination has the potential to reduce total energy loads, emphasizing its importance as a criterion in passive design strategies for energy-efficient buildings.*

*Key words: Energy consumption, Facade inclination, Energy efficiency*

<sup>1</sup> e-posta adresi: ebruyukseleytu@gmail.com

<sup>2</sup> e-posta adresi: manioğlu@itu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Enerji bilinci gelişmiş ülkelerde, enerjinin verimli kullanılması ile ilgili teknolojilerin gelişmesi ve uygulamalarının yaygınlaşması giderek artmaktadır. Ancak çoğu zaman bina tasarım aşamasında binanın enerji etkinliği ve iklimle dengeli tasarım ölçütlerine dikkat edilmemektedir. Bu durumda binalar iç iklimsel konfor koşullarını sağlamak için mekanik sistemlere bağlı hale gelerek aşırı enerji tüketmektedirler. Enerji tüketiminin oldukça yüksek olduğu inşaat sektöründe ilk tasarım aşamasında alınacak önlemler enerjinin etkin olarak kullanılmasında oldukça önemlidir. Binalardaki enerji etkinliği, yapma çevre değişkenlerine ait yerleşme ölçeğinden malzeme seçimine kadar verilen kararların tümüne bağlıdır. Binaların ısı konforunu etkileyen parametrelerden olan bina formu, cephe eğimi, bina kabuğu alanı, binanın yönlendiriliş durumu ve saydamlık oranı, binalardaki toplam ısı kazanç ve kayıplarında etkilidir [1].

Binanın enerji performansını etkileyen en önemli tasarım parametrelerinden birisi olan bina formu; biçim faktörü (bina cephesinin derinliğine oranı), bina yüksekliği, çatı tipi (düz, beşik, kırma), döşeme türü (toprağa oturan döşeme, altı açık döşeme), çatı eğimi ve cephe eğimi gibi geometrik parametreler bütünü olarak ifade edilebilir [1]. Sıcak iklim bölgelerinde, bina formunun plan düzleminde girintili ve çıkıntılı tasarlanması ve kesitte cepheye eğim verilmesiyle bina kabuğuna gelen güneş ışınımı miktarı azaltılarak soğutma yüklerinin azalması sağlanabilir. Soğuk iklim bölgelerinde ise, bina formunun plan düzleminde, daha kompakt düzenlenmesi ve kesitte güneş ışınımını kazancını artıracak şekilde cepheye eğim verilmesiyle ısıtma yüklerinin azaltılması sağlanabilir [2]. Bu nedenle, cephe eğiminin değişiminin bina enerji yükleri üzerindeki etkisinin incelenmesi ve uygulama alanlarının değerlendirilmesi önemli bir konudur.

Binanın dış kabuğunun optik ve termo-fiziksel özelliklerine bağlı olarak, bina yüzeyine gelen güneş ışınımından kazanılan ısı miktarı, binanın yönlendiriliş durumuna göre değişiklik göstererek iç iklimsel konforu etkileyen iç hava sıcaklığı ve ortalama ışınimsal sıcaklık gibi parametreleri etkilemektedir. Bu nedenle farklı yönlere bakan bina kabuğunun yüzeylerini etkileyen güneş ışınım şiddetleri de farklılık gösterecektir. Binanın ısı kayıp ve kazançlarına karşı korunmuş hacmi ( $V$ ) ile ısı geçişinin gerçekleştiği alanı ( $A$ ) arasındaki  $V/A$  oranının esas alınarak ısıtma ve soğutma enerjisi harcamalarına ilişkin değerlendirme yapmak olanaklıdır. Başka bir deyişle, aynı hacmi çevreleyen farklı bina formlarını tanımlamada  $V/A$  oranı temel alınarak; bina kabuğunun yönü ve eğimi değişen ancak  $V/A$  oranı aynı olan farklı bina formlarında gerçekleşen ısıtma ve soğutma yüklerinin incelenmesi olanaklıdır [3].

Binaların güneş enerjisinden etkilenmeleri bina formunu oluşturan yüzeyler yoluyla olmaktadır. Cephe bileşenleri genelde yer düzlemi ile  $90^\circ$  'lik açılar yapan bileşenlerdir. Ancak mimaride, dış duvar, pencere ya da çatı gibi bina bileşenlerinde eğimli yüzeyler de kullanılmaktadır. Bina cephesindeki güneş ışınımı miktarı bina kabuğunun termo-fiziksel özelliklerine bağlı olarak binada oluşacak olan enerji yüklerini etkilediğinden eğimli bir cepheye gelen güneş ışınım miktarı da farklı olacaktır. Cephe eğimi değişiminin bina yükleri üzerindeki etkisinin incelenmesi için yapılan çalışmalar ile doğrudan güneş ışınım miktarını değiştirerek binanın ısıtma ve soğutma yüklerini etkilediği görülmüştür. Capeluto (2003), Kudüs'te bulunan İsrail Bankasının eğimli cepheye sahip olan binasının güneş enerjisinden yararlanma durumunu SustArc adlı simülasyon programında incelemiştir. Çalışma sonucunda, Tüm yönlerde aynı eğime ( $40^\circ$ ) sahip cephe formunun farklı yönler için farklı cephe eğimine sahip olması gerektiğini göstermiştir. [4]. Chan ve Chow (2014), Çin'in farklı iklim bölgesi için bir ofis binasının ideal cephe eğim açını bulmaya çalışmışlardır.

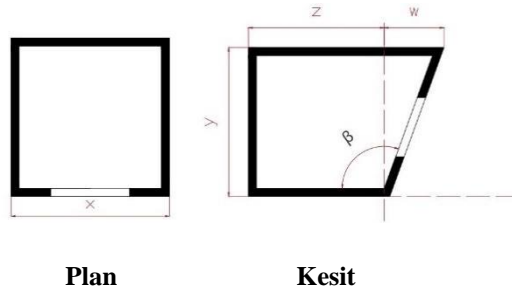
EnergyPlus adlı simülasyon programı kullanılan çalışmada; farklı cephe açılara sahip ofis yapısının farklı enerji yükleri olduğunu saptamışlardır. Çalışma sonucunda, enerji yükleri göz önüne alınarak farklı iklim ve enlemde bulunan ofis yapısının ideal cephe eğim açısının farklı olacağı sonucuna ulaşmışlardır [5]. Xin ve diğerleri (2013), tropikal iklime sahip Malezya’da bulunan ve Diamond Building ismi verilen binanın enerji etkinliğini araştırmışlardır. Bina 3. Devlet Enerji Verimliliği Konferansından sonra Putrajay şehrinde inşa edilmiştir. Binanın yer düzlemi ve cephe arasındaki açıları yöne bağlı olarak değişmektedir. Bu cephe eğimleri sayesinde soğutma enerji yükü %64 oranında azaldığını tespit etmişlerdir [6]. Yapılan çalışmalarda tasarım aşamasında alınan kararlardan bina formu ve cephe eğiminin binalardaki enerji yükünü önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Cephe eğiminin binalardaki enerji yükünü nasıl etkilediği ile ilgili yapılan çalışmaların; saydamlık oranına ve yöne bağlı olarak incelenmesi binaya gelen toplam güneş ışınım miktarını etkileyeceği için oldukça önemlidir. Bu çalışmada ise TSE 825’e göre Türkiye’nin aynı derece gün bölgesinde bulunan İstanbul ve Diyarbakır illeri için, A/V (toplam dış yüzey alanı / bina hacmi) oranı sabit olacak şekilde saydam bileşenin bulunduğu cephenin alanı sabitken, cephe eğim açısı değiştirilerek farklı bina formu seçenekleri üretilmiştir. Güneş ışınımından kazanılan ısı miktarı bina cephesinin baktığı yönün ve bina kabuğunun saydamlık oranının bir fonksiyonu olduğundan binanın yönlendiriliş durumu ve saydamlık oranı iç mekânda oluşan ısıtma ve soğutma yüklerini ve iç mekânda oluşan konfor koşullarını etkileyecektir. Bu nedenle, bu çalışmada oluşturulan, farklı cephe eğim açısı, yönlendiriliş durumuna ve saydamlık oranına sahip bina formlarının ısıtma ve soğutma yükleri üzerindeki etkisi, enerji simülasyon programı aracılığı saptanmış ve toplam yükleri azaltan uygun alternatiflerin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

## 2. METODOLOJİ

Yaşama alanını örten ve onu dış çevreden ayıran bina kabuğunun biçimine bağlı olarak, binanın farklı yönlere bakan, farklı eğimlerdeki cephe ve saydamlık oranının değişimleri güneş ışınımından kazanılan ve kaybedilen ısı miktarını etkiler. Bu etkinin incelenmesi amacıyla İstanbul ve Diyarbakır illeri için farklı cephe eğimlerine sahip binaların ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri ve bu binalarda oluşan konfor koşullarının değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

### 2.1. Binaya ait değişkenlerin belirlenmesi

Değerlendirme çalışmasında kullanılmak üzere oluşturulan tek hacimden oluşan binanın yıllık ısıtma ve soğutma enerji yüklerinin etkin bir şekilde değerlendirilebilmesi için A/V oranları 1,5 olan ve saydam bileşenin bulunduğu cephe için 5 farklı eğim önerilen, 5 farklı bina formu üretilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1: Binanın boyutları ve cephe eğiminin plan ve kesitte gösterimi.

Cephe eğiminin değişmesiyle oluşturulan farklı formlardaki tek hacimli binanın boyutlarına ilişkin değişkenleri simgeleyen b, c ve d değerlerine ait denklemler 1, 2 ve 3 'de gösterilmektedir.

$$w = x \times \cos(\beta - 90) \quad (1)$$

$$y = x \times \sin(\beta - 90) \quad (2)$$

$$z = \left( \frac{x}{\cos(\beta - 90)} \right) - \left( \frac{x \sin(\beta - 90)}{2} \right) \quad (3)$$

Değerlendirme çalışması için kullanılacak tek hacimli binanın yönlere bağlı olarak ısıtma ve soğutma yüklerinin ve hacimdeki iç hava sıcaklığı değişimini belirlemek için eğimli cephe 8 farklı yöne (kuzey, kuzeydoğu, doğu, güneydoğu, güney, güneybatı, batı, kuzeybatı) yönlendirilmiştir. Ele alınan tek hacimli binalarda cephe eğimi; saydam bileşenin bulunduğu cephe ile yer düzlemi arasındaki açılar 10° ar derece artacak şekilde 70°, 80°, 90°, 100°, 110° olarak kabul edilmiştir. Çalışmada ele alınan tek hacimli bina seçenekleri Türkiye'nin aynı derece gün bölgesinde bulunan İstanbul ve Diyarbakır illeri için değerlendirilmiştir. Tek hacimden oluşan binanın düz bir arazide yer aldığı, herhangi bir bina tarafından gölgelenmediği varsayılmıştır.

Farklı cephe eğimlerine sahip olan tek hacimli binanın mekanik sistemlerle ısıtılıp soğutulduğu kabul edilmiştir. Hacimlerdeki ısıtma gereksinimi %90 verimlilikle çalışan doğalgazlı sıcak su kazanı ile merkezi olarak karşılanmaktadır. Hacimlerdeki soğutma enerjisi ihtiyacı ise elektrik enerjisi kullanan COP (Soğutma Etkinlik Katsayısı) değeri 1,8 olan split klima cihazları aracılığıyla sağlanmaktadır. Havalandırmanın doğal olarak sağlandığı kabul edilmiş ve binanın yüksek bir hava sızdırmazlığına sahip olduğu göz önünde bulundurularak, bu bina için BEP-TR'ye (Türkiye'de Bina Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Metodolojisi) göre saat başına hava değişim hızı 0,5 saat  $h^{-1}$  olarak kabul edilmiştir [7]. Hacimdeki kullanıcı sayısının 2 kişi olduğu kabul edilmiş ve aktivite düzeyleri için; hafta sonu ve hafta içi olarak farklılık göstererek ASHRAE-55 (Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy) standardından alınan değerler kullanılmıştır [8]. Bina kabuğunun optik ve termo-fiziksel özellikleri ile kabuğun opak ve saydam bileşenlerinin alanları iç hacimde oluşan güneş ışınımı kazançlarını ve iç hava sıcaklığı değerlerini etkilerken aynı zamanda hacmin yıllık ısıtma ve soğutma yüklerini de etkiler. Çalışmada kullanılan farklı formlardaki hacimlerde; eğimli yüzeye sahip cephe alanında 8 farklı saydamlık oranı (%20, %30, %40, %50, %60, %70, %80 ve %90) kullanılmıştır. Diğer cephelerde ise saydamlık oranı %0'dır. Saydam bileşen hacmin sadece eğimli yüzeye sahip cephesinde kullanılmıştır. Binada kullanılan ahşap doğramalı hava boşluklu low-e çift cam pencerenin toplam ısı geçirme katsayısı  $U = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  olarak alınmıştır. Opak bileşenlere ait toplam ısı geçirme katsayı değerleri ve bina kabuğu katmanlaşma detayları TS 825 'Bina Isı Yalıtım Kuralları' Standardına göre tavsiye edilen U değerleri dikkate alınarak belirlenmiştir. [9]. Çizelge 1'de analiz edilecek binalara ait bina kabuğu detayları ve malzeme özellikleri gösterilmiştir.

## 2.2. Değerlendirilecek tek hacimli binalar için yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji yüklerinin hesaplanması

Çalışmada, değerlendirilecek tek hacimli konut binaları için cephe eğiminin, yönlendiriliş biçiminin ve saydamlık oranının yıllık enerji yükleri üzerindeki etkisini analiz etmek için

EnergyPlusTM 9.0.1 simülasyon programı kullanılmıştır. EnergyPlusTM binaların enerji performansını değerlendirmede yaygın olarak kullanılan ücretsiz ve açık kaynaklı bir programdır. Bu program DOE-2 ve BLAST programlarının geliştirilmesi ve birleşmesi ile ortaya çıkan bir programdır. Program ısıtma, soğutma, aydınlatma, ve diğer enerji yüklerine ait sistemlerin detaylı analiz edilebildiği ve yüksek hesaplama kapasiteli bir bina enerji simülasyon programıdır. Aynı zamanda program binalardaki güneş ışınım kazancı miktarını, iç ortam ısı kazanımını ve iç ortam koşullarını analiz edebilmektedir [10]. EnergyPlusTM 9.0.1 programında, idf (EnergyPlusTM Input Data File) uzantılı metin dosyası EP-Launch / IDF Editör aracılığı ile düzenlenip kullanılmaktadır. Çalışmada farklı cephe eğimine sahip tek zonlu binalar, SketchUp programında OpenStudio eklentisiyle oluşturulmuş ve daha sonra IDF-Editor'a aktarılmıştır. IDF-Editor'da veriler düzenlenmiş ve EnergyPlus ile bina enerji simülasyonları yapılmıştır.

**Çizelge 1:** Bina kabuğu katmanlaşma detayları

Opak Bileşenler	Malzeme	Isı Geçirgenlik Katsayısı $\lambda$ (W/mK)	Kalınlık ( m )	Toplam Isı Geçirme Katsayısı (U değeri) (W/m <sup>2</sup> k)
Dış Duvar Katmanı	1.Kireç Harcı	0,8	0,01	0,564
	2.XPS Ekstrüde	0,034	0,045	
	Polistren	0,72	0,19	
	3.Tuğla	0,4	0,01	
Zemine Oturan Döşeme Katmanı	4.Alçı Sıva			0,569
	1.Ahşap Kaplama	0,14	0,03	
	2.Şap	0,41	0,03	
	3.XPS Ekstrüde	0,034	0,04	
	Polistren	1,9	0,05	
Çatı Katmanı	4.Tesviye Beton	1,13	0,12	0,379
	5.Hafif Beton			
	1.Agrega-kum-çakıl	1,3	0,08	
	2.Şap	0,41	0,03	
	3.XPS Ekstrüde	0,034	0,075	
	Polistren	1,13	0,15	
5.Betonarme	0,4	0,01		
	6.Alçı sıva			

### 3. SİMÜLASYON SONUÇLARININ ANALİZİ

Çalışmada, Türkiye'nin aynı derece gün bölgesinde bulunan İstanbul ve Diyarbakır illeri için farklı cephe eğimlerine sahip binaların ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri ve bu binalarda oluşan konfor koşullarının değerlendirilmesi hedeflenmiştir. A/V ( toplam dış yüzey alanı / bina hacmi) oranı 1,5 olacak şekilde, saydam bileşenin bulunduğu cephenin alanı sabit tutulup, eğimi değiştirilerek 5 farklı bina formu oluşturulmuştur. Tek hacimden oluşan binada saydamlık oranı için 8, yönlendirme için ise 8 farklı seçenek önerilerek simülasyon sonuçları değerlendirilmiştir.



### **3.1. İstanbul ve Diyarbakır illeri için yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji yüklerinin hesaplanması**

İstanbul ve Diyarbakır illerine ait Çizelge 1’de verilmiş olan katmanlaşma detayları ile ele alınan tek hacimli, farklı yönlere yönlendirilmiş, farklı saydamlık oranına ve farklı cephe eğimine sahip binalar için; yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri Çizelge 2’de gösterilmiştir.

İstanbul ili için oluşturulan tüm seçeneklerde en düşük toplam enerji yükleri güney yönünde ve; %20, %30,%40 saydamlık oranı uygulandığında cephe eğiminin 100° açı yapması durumunda, %50, %60, %70, %80 ve %90 saydamlık oranı uygulandığında ise cephe eğiminin 110° açı yapması durumunda gerçekleşmektedir.

Diyarbakır ili için oluşturulan tüm seçeneklerde en düşük toplam enerji yükleri güney yönünde ve;

- %20, %30,%40, %50 saydamlık oranı uygulandığında cephe eğiminin 100° açı yapması durumunda,

- %60, %70, %80 ve %90 saydamlık oranı uygulandığında ise cephe eğiminin 110° açı yapması durumunda gerçekleşmektedir.

Farklı cephe eğimine, yönlendiriliş durumuna ve saydamlık oranına sahip tek hacimli binalarının; ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri üzerindeki etkisi İstanbul ve Diyarbakır illeri için değerlendirildiğinde aşağıdaki bulgular elde edilmiştir;

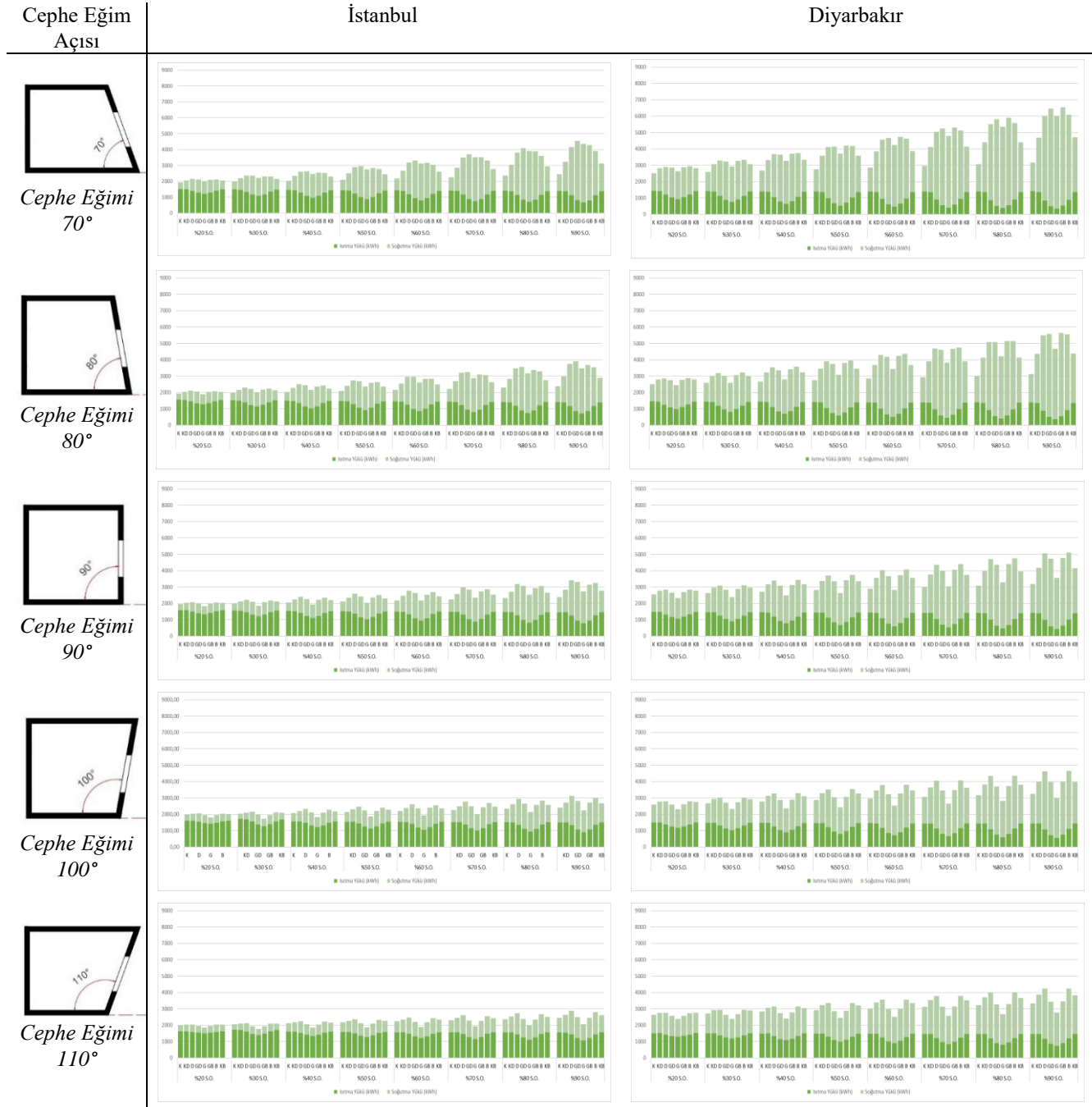
- Cephe eğim açısı azaldıkça ısıtma yükleri azalmakta, soğutma yükleri artmaktadır.
- İstanbul ve Diyarbakır illeri için farklı saydamlık oranına ve yöne bağlı olarak tek hacimli binada en düşük toplam enerji yükleri Güney yönünde; cephe eğiminin 100° ve saydamlık oranının %30 ve cephe eğiminin 110° ve saydamlık oranının %20 olduğu durumlarda gerçekleşmiştir.
- Farklı saydamlık oranları ile her yönlendiriliş durumu için en düşük toplam enerji yükü farklı cephe eğimi ile elde edilmektedir. İstanbul ve Diyarbakır’da Batı ve Doğu yönlendiriliş durumu için saydamlık oranının %20, cephe eğim açısının 110° olduğu durumdaki hacimde en düşük toplam ısıtma ve soğutma enerji yüklerinin gerçekleştiği görülmüştür. Kuzeye yönlendiriliş durumunda ise en düşük toplam ısıtma ve soğutma enerji yüklerinin gerçekleştiği durum; saydamlık oranının %20, cephe eğim açısının 70° olduğu hacimdir (Çizelge 2).

Bu seçenekler yardımıyla yönlendiriliş durumu ve saydamlık oranı değeri belirlendiğinde, binanın tüm cephelerinde aynı eğim değeri kullanılabilir. Bunun yanı sıra tek dış cephesi olan mekanlar için en uygun kombinasyon belirlenerek cephe tasarımları enerji performansı açısından en uygun hale getirebilir. Cephe eğim açısına ve yönlendiriliş durumuna bağlı olarak farklı saydamlık oranlarının en etkin olduğu cephe seçenekleri de değişmektedir. Bu seçenekler yardımıyla etkin cephenin ön plana çıkarıldığı ve bu şekilde minimum enerji harcamalarının gerçekleştiği pratik yaklaşımlar geliştirilebilir.

### **3.2. İstanbul ve Diyarbakır illeri için cephe eğim açısına bağlı olarak en düşük toplam enerji yükünün gerçekleştiği açı ile dik (90°) cephenin karşılaştırılması**

Farklı cephe eğimine, yönlendiriliş durumuna ve saydamlık oranına sahip tek hacimli binalarının; Türkiye’nin aynı derece gün bölgesinde bulunan, iklim özellikleri farklı iller için soğutma ve saydam bileşene gelen güneş ışınım miktarlarının farklı olduğu görülmektedir.

**Çizelge 2:** İstanbul ve Diyarbakır illeri için yönlere bağlı olarak cephe eğim açısının ve saydamlık oranının toplam ısıtma ve soğutma enerji yükleri (kW) üzerindeki etkisi



Çalışmanın bu bölümünde ise; İstanbul ve Diyarbakır illerinde en düşük enerji yükünün gerçekleştiği yön, saydamlık oranı ve cephe eğim açısı ile aynı yönlendiriliş durumu ve saydamlık oranına sahip ancak yer düzlemine (90°) cephe açısı durumu toplam enerji yükleri karşılaştırması sırasıyla Çizelge 3 ve Çizelge 4’de gösterilmiştir. Bu iki farklı cephe eğimi ve yönlendiriliş durumu toplam enerji yükü bakımından karşılaştırıldığında;

- İstanbul ili için; Kuzeydoğu yönüne yönlendirilmiş ve %20 saydamlık oranına ve 110° cephe açısına sahip hacimle, aynı yönlendiriliş durumu ve saydamlık oranına ancak 90° cephe açısına

sahip hacim arasında en düşük toplam enerji yükü farkı (%0,24 oranında), en yüksek toplam enerji yükü farkı Güneydoğu yönüne yönlendirilmiş ve %90 saydamlık oranına (%33,47 oranında) sahip hacimde oluşmaktadır.

**Çizelge 3:** İstanbul illi için cephe eğim açısına bağlı olarak en düşük toplam enerji yükünün gerçekleştiği koşul ile aynı yönlendiriliş durumuna sahip dik (90°) cephede gerçekleşen enerji yüklerinin karşılaştırılması sonucunda ortaya çıkan minimum ve maksimum toplam enerji yükü farklarının yüzdesel olarak farkları

Saydamlık Oranı	20%		30%		40%		50%		60%		70%		80%		90%	
Cephe Yönü	Cephe Açısı (°)	Fark (%)	Cephe Açısı (°)	Fark (%)	Cephe Açısı (°)	Fark (%)	Cephe Açısı (°)	Fark (%)	Cephe Açısı (°)	Fark (%)	Cephe Açısı (°)	Fark (%)	Cephe Açısı (°)	Fark (%)	Cephe Açısı (°)	Fark (%)
Kuzey	70	1,21	70	0,99	80	1,10	80	1,072	80	0,93	80	0,83	90	0,00	80	0,43
Kuzeydoğu	110	0,24	110	1,46	110	2,20	110	3,300	110	4,44	110	5,50	110	6,61	110	7,39
Doğu	110	2,19	110	5,51	110	7,32	110	9,868	110	12,23	110	14,45	110	16,80	110	18,65
Güneydoğu	110	2,35	110	8,60	110	10,33	110	14,972	110	19,67	110	24,27	110	29,05	110	33,47
Güney	100	1,00	100	7,09	100	5,84	110	9,707	110	14,91	110	20,76	110	26,93	110	32,62
Güneybatı	110	1,57	110	7,25	110	8,33	110	12,437	110	16,66	110	20,82	110	25,18	110	29,12
Batı	110	1,57	110	4,28	110	5,99	110	8,220	110	10,30	110	12,27	110	14,37	110	16,01
Kuzeybatı	100	0,08	110	0,96	110	2,77	110	2,560	110	3,53	110	4,48	110	5,47	110	6,15

**Çizelge 4:** Diyarbakır illi için cephe eğim açısına bağlı olarak en düşük toplam enerji yükünün gerçekleştiği koşul ile aynı yönlendiriliş durumuna sahip dik (90°) cephede gerçekleşen enerji yüklerinin karşılaştırılması sonucunda ortaya çıkan minimum ve maksimum toplam enerji yükü farklarının yüzdesel olarak farkları

Saydamlık Oranı	20%		30%		40%		50%		60%		70%		80%		90%	
Cephe Yönü	Cephe Açısı (°)	Fark (%)	Cephe Açısı (°)	Fark (%)	Cephe Açısı (°)	Fark (%)	Cephe Açısı (°)	Fark (%)	Cephe Açısı (°)	Fark (%)	Cephe Açısı (°)	Fark (%)	Cephe Açısı (°)	Fark (%)	Cephe Açısı (°)	Fark (%)
Kuzey	70	1,81	70	1,63	70	2,06	70	1,99	80	1,91	80	2,02	80	2,09	80	2,00
Kuzeydoğu	110	0,87	110	1,77	110	3,17	110	4,29	110	5,24	110	6,13	110	7,16	110	7,79
Doğu	110	2,99	110	5,19	110	8,46	110	10,95	110	13,12	110	15,14	110	17,36	110	18,96
Güneydoğu	110	3,65	110	7,47	110	13,05	110	17,88	110	23,03	110	28,18	110	33,29	110	37,56
Güney	100	0,74	100	2,33	100	5,22	100	8,03	110	12,32	110	17,69	110	23,32	110	28,29
Güneybatı	110	4,49	110	7,80	110	13,21	110	18,21	110	23,48	110	28,76	110	34,11	110	38,66
Batı	110	3,81	110	5,76	110	9,16	110	11,74	110	14,07	110	16,18	110	18,42	110	20,00
Kuzeybatı	110	0,89	110	1,80	110	3,57	110	4,79	110	5,81	110	6,63	110	7,66	110	8,33

● Diyarbakır ili için; Kuzeydoğu yönüne yönlendirilmiş ve %20 saydamlık oranına ve 110° cephe açısına sahip hacimle, aynı yönlendiriliş durumu ve saydamlık oranına ancak 90° cephe açısına sahip hacim arasında en düşük toplam enerji yükü farkı (%0,87 oranında), en yüksek toplam enerji yükü farkı Güneybatı yönüne yönlendirilmiş ve %90 saydamlık oranına (%38,66 oranında) sahip hacimde oluşmaktadır.

Elde edilen verilere göre saydamlık oranı arttıkça cephe eğim açısının toplam enerji harcamaları üzerindeki etkinliğinin daha da arttığı görülmektedir. Cephe eğim açısının etkinliğinin daha fazla olduğu ilin Diyarbakır olduğu görülmektedir.

## 4. SONUÇLAR

Binalarda tüketilen enerjinin büyük bir kısmının ise binaların yapım ve kullanım sürecinde tüketildiği bilinmektedir. Bu nedenle yapı sektöründe enerji etkin tasarım stratejileri ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımı oldukça önemlidir. Yapılarda sonradan yapılacak müdahale yerine tasarım aşamasında enerji yüklerinin azalmasını sağlayacak adımların izlenmesi enerjinin etkin kullanılması için gereklidir. Dolayısıyla, doğru tasarım kararları ile oluşturulan pasif sistemler yapılarda enerji korunumu bakımından büyük ve etkili farklar yaratır. Bina cephesinin, güneş ışınımından faydalanacak ya da korunacak şekilde tasarlanması en önemli pasif tasarım stratejilerinden birisidir. Bu nedenle, bina cephe eğiminin iklim bölgelerine göre değişimi hem bina kabuğunda gerçekleşen ısı geçişini hem de iç mekândaki konfor koşullarını etkilemektedir.

Bu çalışmada, Türkiye'nin aynı derece gün bölgesinde bulunan, iklim özellikleri farklı olan İstanbul ve Diyarbakır illeri için farklı cephe eğimlerinin, bina yönlendiriliş durumunun ve farklı saydamlık oranının iç hacimdeki toplam soğutma ve ısıtma yükleri üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Farklı iklim bölgelerinde yer alan İstanbul ve Diyarbakır illerinde yer alan A/V oranı sabit tutulan ve eğimli cephe alanı aynı olan tek hacimli binalarda, cephenin yönüne, yer düzlemi ile cephe arasındaki açıya ve saydamlık oranına göre toplam enerji yüklerinin en az olduğu hacimler değişkenlik göstermektedir.
- A/V oranı sabit tutulan ve eğimli cephe alanı aynı olan tek hacimli binalarda, cephe eğim açısının artmasının soğutma enerji yükünü azalttığı, cephe eğim açısının azalmasının ise ısıtma enerji yükünü azalttığı gözlenmiştir.
- A/V oranı sabit tutulan, eğimli cephe alanı, cephe eğimi ve yönlendiriliş durumu aynı olan tek hacimli binalarda, saydamlık oranı azaldıkça binanın toplam enerji yükleri de azalmaktadır.
- A/V oranı sabit tutulan, eğimli cephe alanı, cephe eğimi ve saydamlık oranı aynı olan tek hacimli binalarda, saydam bileşenin bulunduğu eğimli cephe yönüne bağlı olarak değişen güneş ışınımı kazancı değeri toplam enerji yüklerini de doğrudan etkilemektedir.
- Her yön için belirlenmiş olan en düşük toplam enerji yükü karşılaştırıldığında, en az ısıtma ve soğutma enerji yükü değerinin; cephe açısı  $70^0$  olduğunda kuzey yönünde,  $80^0$  olduğunda ve düşük saydamlık oranları uygulandığında güney yönünde, saydamlık oranları arttıkça kuzey yönünde,  $90^0$  derece ve daha yüksek açılarda ise her zaman güney yönünde gerçekleştiği görülmüştür.
- Farklı saydamlık oranları ile her yönlendiriliş durumu için en düşük toplam enerji yükü farklı cephe eğimi ile elde edilmektedir.
- Cephe eğim açısına ve saydamlık oranına bağlı olarak dört ana yön ve dört ara yönde minimum enerji yükünün gerçekleştiği benzer seçenekler oluşabilmiştir. Böylece pratik uygulamalarda da, bir hacmin karşılıklı iki cephesi, komşu cepheleri veya tüm cephelerinde aynı eğim ile minimum enerji yüklerinin gerçekleşmesi sağlanabilir.
- TSE 825'e göre Türkiye'nin aynı derece gün bölgesinde bulunan İstanbul ve Diyarbakır illeri için farklı cephe eğim açıları ve saydamlık oranları ile yapılan enerji yükü hesaplamalarında eğilimin benzer olduğu ancak toplam enerji yüklerinin özellikle Diyarbakır'da her zaman daha yüksek çıktığı görülmektedir. Bu durum; sıcak iklim bölgesinde cephe eğimi açısı azalıp, saydamlık oranları arttığında Diyarbakır ilinde enleme bağlı olarak güneş ışınımı kazançlarının arttığını göstermektedir. Dolayısıyla Diyarbakır ile İstanbul'da gerçekleşen toplam enerji yükleri arasındaki fark Diyarbakır'daki yüksek soğutma yüklerinin bir sonucu olduğu görülmektedir.

- Saydam bileşenin bulunduğu cephe eğim açısına bağlı olarak en düşük toplam enerji yüklerinin gerçekleştiği seçeneğin, en yaygın uygulama olan cephenin yer düzlemi ile dik (90°) olması durumu ile karşılaştırıldığında, aradaki enerji yükü farkının saydamlık oranı arttıkça arttığı görülmüştür. İklim bölgeleri açısından değerlendirildiğinde ise; en yüksek enerji yükü farkının Diyarbakır ilinde yer alan hacimlerde gerçekleştiği görülmüştür. Bu durum uygun eğim, saydamlık oranı ve yönlendiriliş durumu seçeneklerinin sıcak iklim bölgelerinde enerji korunumu açısından daha etkin olduğunu göstermektedir.
- Tasarım aşamasında iklim bölgesine göre, yönlendiriliş durumu, saydamlık oranı ve cephe eğiminin enerji etkinlik açısından optimum kombinasyonunun belirlenmesi ile, hacimlerde meydana gelebilecek toplam enerji yüklerinin azaltılması olanaklıdır.

Çalışmada aynı derece gün bölgesinde bulunan, iklim özellikleri farklı olan İstanbul ve Diyarbakır’da yer alan iller için, saydamlık oranı ve yönlendiriliş durumu ve cephe eğimleri ile oluşturulmuş seçenekler karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Tasarım aşamasında alınan pasif tasarım kararları ile toplam enerji yüklerinin azaltılabileceği görülmüştür.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda bina cephesi eğimi ile ilgili alınacak farklı tasarım kararları çeşitlendirilip enerji korunumu açısından uygun formlar bulunabilir. Çalışma, farklı bina kabuğu detayları, pencerelerin farklı konumlandırılması ve tüm cephedeki yerinin değiştirilmesi ve daha karmaşık bina formlarının uygulanabilmesi gibi kabullerle enerji etkinlik açısından daha ileri bir düzeye taşınabilir. Bu çalışmada değerlendirilen konunun daha kapsamlı çalışmalar ile desteklenmesiyle enerji etkinlik açısından optimum bina formunu sağlayan tasarımlar yapmak olanaklı olacaktır.

## KAYNAKLAR

1. E. Berköz, M. Küçükdoğu, Z. Yılmaz, G. Kocaaslan, F. Ak, "Enerji etkin konut ve yerleşme tasarımı." *Tübitak Proje No: İntag 20*, (1995).
2. M. DeKay, G.Z. Brown, *Sun, wind, and light: architectural design strategies*. John Wiley & Sons, (2013).
3. G. Manioğlu, "Enerji etkin tasarım ve yenileme çalışmalarının örneklerle değerlendirilmesi." *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 126 , (2011), 35-47.
4. I. G. Capeluto, "Energy performance of the self-shading building envelope. " *Energy and buildings*, 35(3), (2003), 327-336.
5. A. L. S. Chan, T. T. Chow. "Thermal performance of air-conditioned office buildings constructed with inclined walls in different climates in China." *Applied energy*, 114, (2014), 45-57.
6. H. Z. Xin, S. P. Rao, "Active energy conserving strategies of the Malaysia energy commission diamond building. " *Procedia Environmental Sciences*, 17, (2013), 775-784.
7. <https://beptr.csb.gov.tr/>, 20 Mart 2024.
8. ANSI/ASHRAE Standard 55-2013, "Thermal environmental conditions for human occupancy", *American National Standards Institute*, (2013).
9. TS-825. "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları", *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara , (2013).
10. <https://energyplus.net/>, 22 Mart 2024.

## İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ KADER DEĞİLDİR

Leman Akman<sup>1</sup>  
Mehmet Şener Küçükdoğu<sup>2</sup>  
İTÜ Mimarlık Fakültesi Taşkışla,  
Taksim, İstanbul, 34437

### ÖZET

*Dünya gündeminden düşmeyen iklim değişikliği ve enerji sorunlarının sonuçları, başta insanlar olmak üzere tüm canlılar için ciddi tehdit oluşturmaktadır. Sanayi devrimi sonrasında inşaat, sanayi ve endüstri sektöründeki gelişmeler sonucunda, atmosfere salınan sera gaz salınımı değişik bir ivme kazanmıştır. Dolayısıyla doğal düzeninde değişim gösteren iklimde, iklimdeki değişim hızında değişiklikler meydana gelmeye başlamıştır. Bu değişikliklerin doğadaki etkileri görünür oluncaya kadar fark edilmemiş veya göz ardı edilmiştir. Ancak iklim değişikliğinin sonuçları hem yakıcı hem de göz ardı edilemez duruma gelmiştir. İklim değişikliğini durdurmak, en azından iklim değişikliği hızını yavaşlatmak için ulusal, uluslararası birçok önlem alınmış ve birçok çalışma yürütülmektedir. Ancak alınan önlemler, yapılan çalışmalar yetersizdir veya doğru uygulanmamaktadır ki iklimdeki değişiklik hızında spesifik bir değişim gözlemlenmemektedir. İklim değişikliğini önlemek ve iklim değişikliği hızını yavaşlatmak sera gaz salınımını azaltmak ile mümkün olur. Sera gaz salınımının azaltılmasının en iyi yolu da, doğa ve iklim ile uyumlu, enerji ihtiyacını doğal kaynaklardan sağlayan, yenilenemez enerji kaynak kullanımını minimumda tutan kentler, mahalleler ve yapılar tasarlanarak, uygulamaktır. Bu çalışmada iklim değişikliği ve enerji sorununun en büyük nedeninin yapılaşma olduğu, en iyi çözümünün ise yine yapılaşma olacağına önemi ortaya konmaya çalışılmıştır. Ayrıca başta mimar, mühendisler olmak üzere tüm tasarımcıların ve teknik ekiplerin sorumluluk alması, geleceğimiz açısından son derece önemli olacaktır.*

*Anahtar sözcükler: doğal kaynaklar, enerji tasarrufu, iklim, iklim değişikliği, iklimle dengeli tasarım*

### ABSTRACT

*The consequences of climate change and energy problems, which are constantly on the world agenda, pose a serious threat to all living things, especially humans. As a result of the developments in construction, industry and industrial sectors after the industrial revolution, greenhouse gas emissions into the atmosphere have gained a different momentum. Therefore, changes have begun to occur in the climate, which is changing in its natural order, and in the rate of change in the climate. The effects of these changes in nature were not noticed or ignored until they became visible. However, the consequences of climate change have become both devastating and unignorable. Many national and international measures have been taken and many studies are being carried out to stop climate change, or at least slow down the rate of climate change. However, the measures taken and studies carried out are insufficient or not implemented correctly, so that no specific change in the rate of change in the climate is observed. Preventing climate change and slowing down the rate of climate change is possible by reducing greenhouse gas emissions. The best way to reduce greenhouse gas emissions is to design and implement cities, neighborhoods and buildings that are compatible with nature and climate, meet their energy needs from natural resources, and keep the use of non-renewable energy resources to a minimum. In this study, it has been tried to reveal the importance of the fact that the biggest cause of climate change and energy problems is construction and that the best solution will be construction. In addition, it will be extremely important for our future that all designers and technical teams, especially architects and engineers, take responsibility.*

*Key words: climate balanced design, climate, climate change, energy saving, natural resources,*

<sup>1</sup> e-posta adresi: arch.lemanakman@gmail.com

<sup>2</sup> e-posta adresi: mskucukdogu@gelisim.edu.tr

## 1. GİRİŞ

İlk çağdan itibaren insanlar yaşam standartlarını yükseltmek için doğadan yararlanmışlar ve doğayı kutsal saymış, korumak istemişlerdir. Ancak nüfusun artması ve teknolojik gelişmeler sonucu doğa, sınırsız ve kötüye kullanılmaya başlanmıştır. Sınırsız ve kötü kullanılan doğaya verilen tahribat zaman içinde çevre sorunu haline gelmiştir. Doğada etkileri görünür oluncaya kadar fark edilmeyen veya göz ardı edilmiş bu sorun, ilk defa 1953'te Olgyay tarafından Design with Climate adlı kitapta iklim değişikliği, iklimle tasarım konuları ile gündeme gelmiştir. Dünya gündemine giren iklim değişikliği için karbon ayak izi, çevre ve insan, sürdürülebilirlik konularıyla birçok konferans ve panel düzenlenmiş, ulusal ve uluslararası birçok anlaşma imzalanmıştır. Ancak bu anlaşmaların bağlayıcılığı olmadığından veya önerilen çözümlerin yeterli olmaması nedeniyle iklimdeki değişim hızı yavaşlatılamamış fakat endüstriyel devrim sonrası yaşanan enerji sorunu ve buna bağlı yenilenemez enerji kaynaklarındaki azalmalar, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesini sağlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi, iklim değişikliği hızını yavaşlatmak ve doğal afetleri olabildiğince engellemek adına 2050 yılı baz alınarak önlemler alınması adına çalışmalar yürütülmektedir. Ancak bu çalışmalar iklim değişim hızı ve çevre kirliliği düşünüldüğünde yeterli olmayacaktır. Bu nedenle iklim değişikliğini önlemenin en iyi yolu karbon salınımını azaltmaktır. Fakat gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde kentleşme ve sanayileşmenin ön planda tutulması nedeniyle karbon salınımını azaltmak yerine giderek artmaktadır. Bu durumda karbon salınımının en iyi şekilde azaltılmasının yolu inşaat ve sanayi sektöründe doğa ve iklim ile uyumlu kullanıcının iklimsel ve görsel konfor koşullarını sağlayan, iklimle dengeli tasarım yapılmasıyla mümkün olur.

## 2. ÇEVRE TASARIMI VE KONFOR GEREKSİNİMLERİ

İnsanlar faaliyetlerini rahat gerçekleştirebilmek için yapma çevreye ihtiyaç duyarlar. Yapma çevre, insanın tüm psikolojik, biyolojik ve sosyal ihtiyaçlarına hizmet edecek şekilde tasarlanmalıdır. Ancak yaklaşık altmış yıldır iklimde gerçekleşen düzensiz sıcaklık değişiklikleri ve hava hareketleri yapma çevrede konfor durumunun doğal yollardan sağlanması zorlaştırmaktadır. Bu nedenle konfor durumuna ulaşamayan kullanıcı, konfor durumuna ulaşmak için enerji kullanımına başvurur. İç mekânda konforu sağlamak ve enerji tüketimini minimum seviyede tutmak için ortamın iklimsel konfor ve görsel konfor koşulları saptanarak, iklimsel ve görsel konfor durumu doğal yollardan sağlanacak şekilde veya minimum enerji tüketimi ile sağlanacak şekilde tasarlanmalıdır.

### 2.1. Tasarımda İklimsel Konfor Gereksinimleri

İklimsel konfor gereksinimini sağlamak, çevre ve insan arasındaki ısı transferini etkileyen tüm değişkenlerin o çevre için optimum değerlerde olmasını sağlamakla mümkün olur. İklimsel konforu, iç çevrede ve dış çevrede farklı değişkenler etkilese de iç çevrede iklimsel konforu etkileyen değişkenler, dış çevrede iklimsel konforu etkileyen değişkenlere bağlıdır. Bu nedenle iç çevrede iklimsel konfor durumunun sağlanması için dış çevredeki iklimsel konfor durumunu etkileyen değişkenler düşünülerek tasarım yapılmalıdır.

Dış çevrede, dış hava sıcaklığı, güneş ışınımı, rüzgâr ve dış hava nemliliği iklimsel konfor durumunu doğrudan etkileyen iklimsel değişkenlerdir. Isı enerjisinin doğrudan yayılmasıyla oluşan enerji olan dış hava sıcaklığının yeryüzüne dağılışı bölgenin doğal yapısını belirler dolayısıyla dış

hava sıcaklığı iklimsel konforu etkileyen en önemli parametrelerdendir. Güneş ışınımı ise güneşten gelen ışınımın atmosferde saçılma ve yutulmaya uğrayarak dünya yüzeyine yansımaya oluşur bu nedenle güneş ışınımının dünya yüzeyiyle yaptığı açılar iklimsel koşulları belirler. Dış hava sıcaklığı ve güneş ışınımına ek olarak dış hava bağıl nemliliği ve rüzgâr hissedilen sıcaklığı etkilediğinden iklimsel konforu etkileyen iklim bileşenlerindedir.

İç çevrede ise kuru termometre sıcaklığı, ışımsal sıcaklık, hava hareketi ve bağıl nem iklimsel konfor durumunu etkileyen değişkenlerdir. İç çevrede konfor durumunu etkileyen bu değişkenler temelde insan ve mekân arasındaki ısı transfer miktarını doğrudan etkiler. Isı transfer miktarındaki oranın yüksek olması durumunda kullanıcı konfor durumuna ulaşmak için yapma ısıtma veya iklimlendirme sistemlerine ihtiyaç duyar.

Sonuç olarak yeryüzündeki iklimi iklim birleşenleri oluşturur. İklim ise doğal çevrenin ve yapı çevrenin bir bütün olarak çalışmasını sağlar. Bu nedenle tasarım aşamasında iklim ve iklim bileşenleri iyi analiz edilmesi iç mekânda enerji harcamadan veya minimum enerji harcanarak iklimsel konfor durumu sağlanmış olur. Ayrıca iklimsel konfor durumunu kişisel değişkenler de etkilemektedir. Aktivite düzeyi (met), giysi türü (clo), kullanıcının mekândaki konum ve duruş şekli kullanıcının konfor durumunu etkileyen kişisel değişkenlerdir. Örneğin en az sıcak dönemde pencere kenarında çalışan biri, güneş ışınımından faydalanacağı için, duvar kenarında çalışan birine göre konfor durumuna ulaşmak için daha az ısıtma enerjisine ihtiyaç duyar. Ancak en sıcak dönemde pencere kenarında çalışan biri güneş ışınımına maruz kalacağı için, duvar kenarında çalışan birine göre daha fazla iklimlendirme enerjisine ihtiyaç duyar. Bu nedenle yapılar tasarlanırken enerji gereksinimini azaltmak için işleve uygun olarak tasarlanmalıdır.

## **2.2. Tasarımda Görsel Konfor Gereksinimleri**

Görsel konfor gereksinimlerinin yerine getirilmesi için çevrenin doğru aydınlatılmış olması gerekmektedir. Ancak bir mekânda ışık ve ışığı yansıtan yüzeylerin bulunması mekânın doğru aydınlatıldığı anlamına gelmemektedir. Aydınlatma bilim ilkeleri göz önünde bulundurularak tasarlanmış bir mekânda görsel konfor gereksinimleri sağlanmış olur. Aydınlik düzeyi, parlaklık, renk etkenleri bu aydınlatma bilim ilkeleri temellerini oluşturmaktadır. Görsel konfor gereksinimlerinin sağlanması için görsel performansın ve buna bağlı olarak işteki verimliliğin artması, kullanıcının psikolojik ve fizyolojik gereksinimlerine karşılık vermesi ve göz sağlığının korunması için bu üç temel aydınlatma bilim ilkelerinin standart değerler içinde tutulmasıyla gerçekleşir.

## **3. İKLİMLE DENGELİ ÇEVRE TASARIMINI ETKİLEYEN İKLİMSEL PARAMETRELER**

İklimsel koşullar ve doğal yapı, minimum enerji tüketiminin ve kullanıcı konforunun sağlanmasında rol oynayan en önemli değişkenlerdendir. Bölgenin pozitif ve negatif etkenlerine uygun planlama yapılması yapma enerji kaynaklarına ihtiyacı azaltarak enerji tüketimini düşürür ve maksimum kullanıcı konforu sağlar. Ancak çevresel değişkenler düşünülmeden planlama yapılırsa, kullanıcının iklimsel ve görsel konfor durumu sağlanamaz ve yapma enerji kaynak kullanımına başvurulur.

Yapma enerji kaynaklarının kullanımı sera gaz yoğunluğunun artmasına bu nedenle iklim değişikliği hızının artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle tasarım aşamasında doğal ve yapma çevre tanınarak, tasarıma uygun pasif sistem uygulamaları yapılarak, enerji kullanımı ve



dolayısıyla atmosfere salınan sera gaz yoğunluğu azaltılabilir. Yani iklimle dengeli çevre tasarım parametrelerine uygun tasarım ve uygulama yapılması iklim değişikliği hızı yavaşlatılabilir.

### **3.1. İklimle Dengeli Çevre Tasarımda Doğal Çevreye İlişkin Parametreler**

Doğa ve iklim ile dengelenemeyen yapma çevre kullanıcı konforunu sağlayamaz bu nedenle kullanıcı konfor durumuna ulaşmak için enerji tüketimine başvurur. Doğal çevre analizlerinin doğru yapılması ve tasarım aşamasında doğru kararların verilmesi, iklimsel ve görsel konfor gereksinimleri ön planda tutularak yapıların fonksiyonlarının belirlenmesi enerji kullanımına ihtiyaç duyulmaz veya enerji tüketiminin minimum olmasını sağlar.

#### **3.1.1. Doğal yapı**

İklimle dengeli çevre tasarımda doğal çevreyi etkileyen en önemli parametrelerden biri doğal yapıdır. En önemli özelliği yön vericiliği olan doğal yapıya dair izler insan ve mimarlık eylemlerini belirler. Teknolojik gelişmeler sonucunda doğal yapının en önemli özelliği olan yön vericiliği önemsenmemekte ve doğal yapı bir nesne olarak görülmektedir. Ancak kentler tüm değişkenleri ile birlikte dinamik bir olgu olarak ele alınmalı ve doğal yapı değişkenlerine göre tasarlanmalıdır. Örneğin soğuk iklim bölgelerinde güneş etkeninden faydalanılacak, rüzgâr etkeninden korunacak şekilde arazi yamacının alt bölgelerine yerleşmeli, sıcak nemli iklim bölgelerinde ise rüzgârdan faydalanacak şekilde arazi sırtına yakın bölgelere yerleşmelidir ki kullanıcının konfor durumunu sağlamak için enerji kullanımına ihtiyaç duyulmasın.

#### **3.1.2. İklimsel konforu etkileyen değişkenler**

İklimle dengeli çevre tasarımda doğal çevreyi etkileyen diğer parametre ise iklimsel konforu etkileyen değişkenlerdir. Enerji tasarrufu ve kullanıcı konforunu sağlamak için iklim en önemli olgudur. İklim, iç çevrede ve dış çevrede farklı değişkenler ile kullanıcı konfor durumunu belirler. Dış çevrede dış hava sıcaklığı, güneş ışınımı, rüzgâr ve dış hava bağıl nemliliği kullanıcı konforunu etkileyen değişkenlerdir. Dış çevrede iklimsel konforu etkileyen bu değişkenlerin bina kabuğu ile aktarılmasıyla iç çevrede iklimsel konfor durumunu etkiler. Yani iç çevrede ışımsal sıcaklık, kuru termometre sıcaklığı, hava hareketi ve bağıl nem değişkenleri iklimsel konfor durumunu etkiler. Bu nedenle iklimsel konfor durumunun sağlanması yapma çevreye ilişkin değerlere bağlıdır.

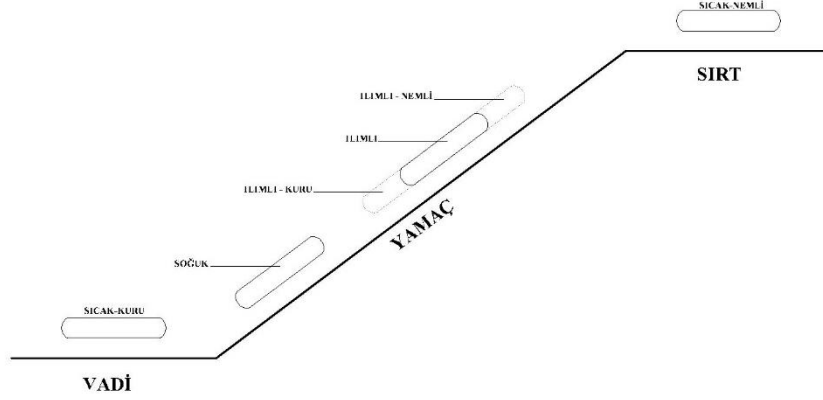
### **3.2. İklimle Dengeli Çevre Tasarımda Yapma Çevreye İlişkin Parametreler**

İklimsel konforu etkileyen değişkenler iç çevrede, dış çevre değişkenlerine bağlı olduğundan yapma ısıtma ve iklimlendirme sistemlerine ihtiyaç olup olmadığı, ihtiyaç varsa ne kadar enerji kullanılması gerektiğini belirler. Dolayısıyla yapıların iklimle uyumlu çevre tasarımına uygun olarak tasarlanması, bu değişkenler için uygun değerlerin belirlenmesiyle yapılabileceğinden yapının ihtiyaç duyduğu enerji gereksinimlerini azaltmaya yönelik kararların, tasarım aşamasında verilmesi gerekmektedir.

#### **3.2.1. Yer seçimi**

Yapının arazideki konumuna, optimum yapı yönüne bölgenin iklimsel karakteri ve bölgenin topoğrafik özelliklerine göre karar verilmesi gerekir. Topografik düzendeki değişik yükseklik farklılıkları ve iklimsel karakterdeki farklılıkları yapıların güneş ve rüzgâr etkenlerine ihtiyacını

belirler. Bu ihtiyaç da iklimle uyumlu çevre tasarımı çerçevesinde yapının arazideki konumunun ve yapının yöneliminin belirlenmesini sağlar. Örneğin İstanbul ve Erzurum farklı iklim karakterlerine ve farklı topografik özelliklere sahip olduğundan İstanbul'un güneş ışınım ve rüzgâr ihtiyacı ile Erzurum'un güneş ışınım ihtiyacı farklılık gösterir. Bu nedenle İstanbul'da yapılan bir yapının konum ve yönelimi ile Erzurum'da yapılan bir yapının konum ve yönelimi farklılık göstermelidir.



Şekil 1: Kuramsal bir yerey kesitinde değişik iklim karakterlerinde yerleşim kademeleri

### 3.2.2. Bina biçimi

Bina biçimlerine ise bölgenin iklimsel karakterine göre karar verilmesi gerekmektedir. Bölgelerin iklimsel koşulları göz önünde tutularak ısı kaybı, kazancı ve rüzgâr etkisi iklimle dengeli duruma getirilerek yapılar biçimlendirilmelidir. Optimum bina biçimi, esneklik sınırları gözetilerek, en az sıcak dönemde maksimum ısı kazanan, en sıcak dönemde minimum ısı kazanan, rüzgâr ve güneş etkenlerine ihtiyaç durumuna veya rüzgâr ve güneş etkenlerinden korunma durumuna uygun olarak tasarlanmasıyla mümkün olur. Örneğin sıcak nemli iklim bölgesinde hâkim rüzgâr yönüne dik, geniş, yüzey veren uzun dikdörtgen form, soğuk iklim bölgesinde minimum dış yüzey alanı verecek kare form, sıcak kuru iklim bölgesinde avlulu bina formu önerilir.

### 3.2.3. Bina kabuğuna ve termofiziksel özellikleri

Yapıların bina kabuğuna ve termofiziksel özellikleri ise dış hava sıcaklığı, güneş ışınımı, bağıl nem gibi iklimsel konforu etkileyen iklim elemanlarına göre belirlenmelidir. Farklı iklimsel karaktere sahip bölgelerde dış hava sıcaklığı ve dış hava bağıl nemliliği farklılık göstereceğinden aynı termofiziksel özelliklere sahip bina kabuğu tercih edilmesi durumunda iklimsel konfor durumu sağlanabilmesi için enerji kullanımına ihtiyaç duyulacaktır. Bu nedenle bina içinde minimum enerji kullanımı ve iklimsel konfor durumunu sağlamak için bina kabuğu seçimi önemli parametredir. Bu nedenle bölgelerin iklimsel karakterlerine uygun termofiziksel özelliklere sahip bina kabukları tercih edilmelidir.

### 3.2.4. Bina aralıkları-yükselik-konumu

Bina aralık, yükseklik, konumu parametresi, yansıyan güneş ışınlarının ısısal ve ışıksal enerjilerinin etkisine, hakim ve yerel rüzgarların etkisine bağlı olarak belirlenmelidir. En az sıcak dönemde güneş etkeninden yararlanmak iklimlendirme için enerjisi tüketimini azaltırken, en sıcak

dönemde rüzgâr etkeninden yararlanmak, ısıtma için enerji tüketimini azaltır. Ayrıca çevre yapıların birbirlerine yapacakları gölgeler düşünülerek tasarım yapılması, bu duruma göre bina gruplarının konumlandırılması ve yön hesaplarının yapılması da ısıtma ve iklimlendirme sistemlerine ihtiyacı azaltır. Bu nedenle kentsel ve yapısal ölçekte planlama ve uygulama yapılırken bölgenin iklimsel ve topografik koşullarına göre yerleşim yapılmalıdır.

### **3.3. İklimle Dengeli Çevre Tasarımda Pasif Sistemler**

Pasif sistemler enerji tasarrufunun sağlanmasında en önemli etkenlerden biridir. İç çevrede kullanıcı konfor koşulları sağlanamıyorsa yapma ısıtma ve iklimlendirme sistemlerine ihtiyaç duyulur. Ancak iç çevrede konfor koşullarını sağlamak için pasif sistemler tercih edilmeli ve pasif sistemler ile konfor koşullarının sağlanamaması durumunda yapma sistemlere başvurulmalıdır.

#### **3.3.1. Rüzgâr Kontrolü**

Rüzgâr kontrolünü sağlamak kentsel ve yapısal ölçekte iklim koşullarına ve doğal yapıya göre değişiklik göstermektedir. Rüzgâr etkeninden yararlanmak ve rüzgar etkeninden korunmak bölgenin iklimsel koşullarına bağlıdır. Rüzgâr kontrolünü sağlamak doğal çevre ile sağlanabileceği gibi yapma çevre ile de sağlanabilir. Örneğin en sıcak dönemde rüzgâr etkeninden yararlanılmak istenen bir yapıda bitki örtüsü rüzgârı engellemeyecek şekilde tercih edilmelidir veya bina gruplarının konumlandırılması rüzgârı engellemeyecek şekilde tercih edilmelidir.

#### **3.3.2. Güneş Kontrolü**

Rüzgar kontrolü gibi yapılarda güneş kontrolünü sağlamak kentsel ve yapısal ölçekte iklimsel koşullara ve doğal yapıya göre değişiklik göstermektedir. Güneş etkeninden yararlanmak ve güneş etkeninden korunmak bölgenin iklimsel koşullarına bağlıdır. Güneş kontrolünü sağlamak doğal çevre ile sağlanabileceği gibi yapma çevre ile de sağlanabilir. Örneğin en az sıcak dönemde güneş etkeninden yararlanılmak istenen bir yapıda bitki örtüsü güneşi engellemeyecek şekilde tercih edilmelidir veya bina gruplarının konumlandırılması güneşi engellemeyecek şekilde tercih edilmelidir. Ancak sadece bu ilkeler göz önünde bulundurularak tasarlanmış yapılarda güneş kontrolü sağlanmış olmaz. Güneş kontrolünün sağlanması için kullanıcının görsel konfor durumunu da sağlaması gerekmektedir. Güneş tarafından yayılan ışığın, bir mekanda yapılacak iş ve ihtiyaç duyulan aydınlık düzeyine bağlı olarak ışıktan yararlanılmak istendiği durumlarda dağılmasını sağlayarak, ışıktan korunmak istenen durumlarda ise ışığın kontrol altına alınmasıyla görsel konfor durumu sağlanmış olur. Güneş kontrolü hem iklimsel konfor hem de görsel konfor koşullarının sağlanmasıyla gerçekleşir.

#### **3.3.3. Nem Kontrolü**

Planlama ve yapım aşamasında zemin suları ve yağmur sularına karşı alınacak önlemler yapı içinde nem oluşmasına engel olunur. Ancak yapılarda sadece bu değişkenler için önlem alınarak nem kontrolü sağlanmış olunmaz. Dış çevrede dış hava bağıl nemliliği ve dış hava sıcaklığı ile iç çevrede kuru termometre sıcaklığı ve bağıl nem değerlerinin farklı olduğu koşullarda bina kabuğunda nem difüzyona uğrar. Bu difüzyon sırasında yoğunlaşma nedeniyle oluşan neme karşı önlem de almak gerekmektedir. Bölgenin iklimsel koşullarına uygun termofiziksel özelliklere sahip bina kabuğu tercih edilmesiyle iç mekânda nem kontrolü sağlanmış olur.

## 4. SONUÇ

İklim değişikliğine yol açan en büyük etkenlerden biri yapıların enerji tüketimidir. İklimle dengeli ve bölgenin doğal yapısına uygun tasarlanan bir yapıya göre bölgenin iklimsel koşullarına ve doğal yapısına uygun olamayarak tasarlanan bir yapının enerji tüketimi daha fazladır.

Küresel bir sorun olan iklim değişikliği ve enerji sorunu, kendi enerjisini kendi üreten yapıların, mahallelerin ve kentlerin tasarlanmasıyla mümkün olur. Bu nedenle tasarım aşamasında iklimsel ve doğal yapı analizlerine göre yapma çevre değişkenleri belirlenmelidir. Yani arazinin iklimsel koşulları ve doğal yapısına göre yapının veya yapı gruplarının arazideki konumuna, optimum yönüne, yüksekliğine, biçimine, yapıların birbirine uzaklığına ve yapı kabuğuna karar verilmelidir. Son olarak yapıların hem iklim etkisine karşı direnç göstermesi hem de kendi enerjisini kendi üretebilmesi için doğal yapıdan, bitki örtüsünden ve pasif sistemlerden yararlanmalıdır.

Enerji tüketimini azaltmak ve iklim değişikliği hızını yavaşlatmak için iklimle dengeli tasarım parametreleri göz önünde bulundurularak kentsel ve yapısal ölçekte tasarımlar yapılmalıdır. İklimle dengeli tasarım planlamaları ve uygulamaları yönetmeliklerle desteklenerek bir devlet politikası haline geldiğinde iklim değişikliği bir kader olmaktan çıkacaktır. Örneğin deprem bölgesi olan ülkemizde hızla konutlar yenileniyor. Bu yenilemelerde iklimle dengeli tasarım parametreleri ne derece uygulanıyor. Bunu sorgulamak gerekiyor.

## KAYNAKLAR

1. A.A. AŞICI, (2021). “İklim için yeşil ekonomi politikaları”, *İTÜ Vakfı Dergisi*, (36)
2. Ç. Erçin, (2005). “Mimarlıkta İklim Faktörü Ve Bu Faktöre Bağlı Olarak Konut Alanlarında Fiziksel Yerleşme Yoğunluğunun Belirlenmesi İçin İlkeler.” (Yüksek Lisans Tezi, Yakın Doğu Üniversitesi Fen ve Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Lefkoşa ). <https://tez.yok.gov.tr> veri tabanından erişildi.
3. E. Akgöz, (2004). “Enerji etkin bina tasarım parametreleri için uygun değerlerin belirlenmesi: istanbul örneği.” (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul ). <https://polen.itu.edu.tr/communities/ee428fd2-0535-4928-8a23-cfe1ddb397a4> veri tabanından erişildi
4. H. Dizdar, (2009). “İklimsel tasarım parametreleri açısından geleneksel ve yeni konutların değerlendirilmesi: diyarbakır örneği.” (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul). <https://polen.itu.edu.tr/communities/ee428fd2-0535-4928-8a23-cfe1ddb397a4> veri tabanından erişildi.
5. G. Kazancı, A. Tezer, “İklim değişikliğine uyumda mekansal planlama ve akıllı yönetim çerçevesinde Türkiye” *TMMOB Şehir Plancıları Odası* 31(2). 302-320. (2021). doi: 10.14744/planlama.2021.87487
6. N. Engin, (2012). “Enerji etkin tasarımda pasif iklimlendirme: doğal havalandırma”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, (62), Sayı 129
7. L. Zeren, Türkiye'nin tipik iklim bölgelerinde en sıcak devre ve en az sıcak devre tayini[ Özel yayın]. İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Yapı Araştırma Kurumu, Seri C(6). (1967).
8. E. Erdek, N. Başaran, R. Atun,, Ö. Kalaycı., H. Lamba, A. Öner, S. Çabuk, H. Uyguçgil, B. Ağaçsapan. “Biyoklimatik Konfor ve Arazi Kullanımı Arasındaki İlişkinin CBS ve UA Teknikleri Kullanarak İncelenmesi : İzmir Örneği.” *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20, 174-188. (2020). doi: 10.35414/akufemubid.634985

# **TAGUCHİ TABANLI YANIT YÜZEY YÖNTEMİ KULLANILARAK ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE ISIL KONFORUN OPTİMİZE EDİLMESİ: ÇOK AMAÇLI OPTİMİZASYON YAKLAŞIMI**

Resul Özlük<sup>1</sup>

Yusuf Yıldız<sup>2</sup>

Türkan Göksal Özbalta<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Balıkesir Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Çağış Kampüsü, Bigadiç, Balıkesir, 10100

<sup>3</sup> Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Merkez Yerleşkesi, Bornova, İzmir, 35040

## **ÖZET**

*Sürdürülebilir bir bina tasarımında amaçlanan enerji tasarrufu ve iç mekân konforunun sağlanması arasında çelişki olabilmektedir. Bu çalışma, çeşitli tasarım değişkenlerinin değerlendirilmesini ve çoklu hedeflerin dengelenmesini kolaylaştırmak için simülasyon tabanlı bir enerji-konfor optimizasyon modeli sunmaktadır. Çok amaçlı optimizasyon için Taguchi tabanlı Yanıt Yüzey Yönteminden (RSM) yararlanılan araştırma, optimum bina enerji verimliliği ve konfor koşullarına ulaşmayı amaçlamaktadır. Enerji tüketimini ve konfor seviyesini ölçmek için bina simülasyon modeli olarak BESTEST 630/930 modeli seçilmiştir. Optimizasyon sürecinde ilk aşamada enerji talebi ve çevresel konfora ilişkin öncelikli 10 farklı bina tasarım parametresi dikkate alınmış olup tasarım değişkenleri Taguchi yöntemiyle amaçlar üzerindeki etki potansiyellerine göre sıralanmıştır. Bu yöntem ile S/N oranı yüksek olan sızdırmazlık değeri, pencere/duvar alan oranı, çatı, duvar ve pencere elemanlarının ısıl geçirgenlik değerleri etkili parametreler olarak saptanmıştır. Belirlenen amaçlar açısından en yüksek potansiyele sahip tasarım değişkenleri seçildikten sonra RSM ile en etkili faktörlerin çok amaçlı optimizasyonu yapılmıştır. Optimum parametre değerlerinin sağlanmasıyla enerji tüketiminde %19,38 oranında bir azalma sağlanırken PMV değerinde ise artış görülmüştür. Çalışma, çeşitli değişkenler arasındaki ilişkinin detaylı bir şekilde analizini sağlayarak konfor ve enerji tüketimi açısından verimli bir bina tasarımı için gelecekteki çalışmalara katkı sağlayacaktır.*

*Anahtar sözcükler: Enerji verimliliği, Isıl konfor, Taguchi tabanlı RSM, Çok amaçlı optimizasyon, BESTEST model*

## **ABSTRACT**

*There may be a conflict between energy saving and indoor comfort aimed at sustainable building design. This study presents a simulation-based energy-comfort optimization model to facilitate the evaluation of various design variables and balancing of multiple objectives. Utilizing the Taguchi-based Response Surface Method (RSM) for multi-objective optimization, the research aims to achieve optimum building energy efficiency and comfort conditions. BESTEST 630/930 model was chosen as the building simulation model to measure energy consumption and comfort level. In the first stage of the optimization process, 10 different building design parameters regarding energy demand and environmental comfort were taken into consideration, and the design variables were ranked according to their impact potential on the objectives using the Taguchi method. With this method, the tightness value with a high S/N ratio, window/wall area ratio, and thermal permeability values of roof, wall and window elements were determined as effective parameters. After selecting the design variables with the highest potential in terms of the determined objectives, multi-purpose optimization of the most effective factors was performed with RSM. By providing optimum parameter values, a 19.38% reduction in energy consumption was achieved, while an increase in the PMV value was observed. The study will contribute to future studies on the design of an efficient building in terms of comfort and energy consumption by providing a detailed analysis of the relationship between various variables.*

*Key words: Energy efficiency, Thermal comfort, Taguchi based RSM, Multi-objective optimization, BESTEST model*

## 1. GİRİŞ

Günümüzde kentsel alanlarda giderek artan nüfusa bağlı olarak enerji tüketimi de artmaktadır [1]. Enerji tüketiminin önemli bir bölümü binalarda aydınlatma, ısıtma, iklimlendirme ve çeşitli elektrikli cihazların kullanımından kaynaklanır. Enerji tüketimi ile artan emisyonlar sonucu iklim değişikliğinin dünya üzerindeki olumsuz etkileri, yerel iklim koşullarında değişikliklere ve sıcaklık artışına sebep olmaktadır [2]. Sıcaklıklardaki artışlar ısı konforunun sağlanmasında engel oluşturmaktadır ve özellikle yüksek sıcaklık ve neme maruz kalan iklim bölgelerinde iklimlendirme temel çözüm olarak görülmektedir [3]. Bilindiği üzere ısı konfor koşullarını sağlamak amacıyla kullanılan iklimlendirme sistemleri binalardaki enerji talebinin önemli bir bölümünü oluşturur [1,4]. Dolayısıyla binalar kullanıcıların salt yaşam alanları değil aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik açısından da kritik bir rol oynamaktadır. Çevresel sürdürülebilirliğin önemli bileşenleri olan ısı konfor ve bina enerji tüketimi, bu bağlamda önemli unsurlar olarak dikkat çeker.

Bina enerji tüketiminin azaltılması ve ısı konfor koşullarının iyileştirilmesi ile ilgili literatürde çok sayıda çalışma mevcuttur. Çalışmalarda, ısı koşulları iyileştirmek ve binanın enerji tüketimini azaltmak için ayrıntılı parametrik analizler, optimizasyon çalışmaları ve ölçümlerin yapıldığı görülür. Albatayneh vd. [5] bina enerji performansını değerlendirmek için farklı ısı konfor modellerini (uyarlanabilir ısı konfor ve tahmini ortalama oy (PMV)) kullanmış olup uyarlanabilir modelin benimsenmesinin enerji tüketimini azaltmaya yardımcı olduğunu saptamıştır. Chegari vd. [6] çalışmasında makina öğrenmesi algoritması ve meta sezgisel algoritmalar kullanarak bina performans optimizasyonu için bir yöntem geliştirmiştir. Kullanılan bu yöntem ile ısıtma ve soğutma ihtiyacı önemli ölçüde azalırken iç mekân ısı konforunun %5 oranında arttığı görülmüştür. Güneş enerjisinden pasif kazanç sağlamak için Bosu vd. [7] farklı güneş enerjisi tekniklerini kullanarak bina enerji tüketimi ve kullanıcı konforunu inceleyen bir çalışma yapmıştır. Çalışmada, mimaride alınan pasif önlemler ile önemli ölçüde kullanıcı konforunu iyileştirdiği ve elektrik tüketimini yaklaşık %46 oranında azaltılabileceğine vurgu yapılmıştır. Kim vd. [8] bir fabrikanın ısı konfor ve enerji akışına göre ısıtma performansını değerlendirmiş ve sonuç olarak önerilen ısıtma stratejisi ile enerji tüketiminin azaltılacağı ve ısı konforunun %79 oranında artabileceğine dikkat çekmiştir. Jafarpur ve Berardi [9] üç farklı şehir için sıcaklık ayar noktalarının genişletilmesi ile gelecekteki iklim senaryolarında kullanıcı konforu ve enerji tüketiminin nasıl değişeceği ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Sonuçlar, şehirlerde enerji tüketiminin farklı oranlarda azaldığını ve PMV (tahmin edilen ortalama oy) aralığının değiştiğini göstermektedir. Bina yapı bileşenlerine ait farklı tasarım değişkenlerinin kullanılarak ısı konfor ve bina enerji tüketiminin birlikte değerlendirildiği çalışmalar da mevcuttur. Chen vd. [10] çalışmasında, ısı konfor kısıtlamaları altında bina enerji tüketimini azaltmak için farklı stratejiler kullanarak simülasyonlar yapmıştır. Farklı tasarım parametreleri (iç ortam sıcaklığı, yapı malzemeleri, bina yönelimi, iklimlendirme, pencere boyutu vb.) ile bina performansı test edilmiş olup optimum çözümün konfor koşullarını sağladığı ve bina enerji tüketiminde önemli ölçüde tasarruf sağlandığını belirtmektedir. Bir diğer çalışmada, Yang vd. [11] farklı konfigürasyonlarda ve iklim koşullarında çalışan fotovoltaik ve çift cidarlı cephelerin iç mekân ısı konforu ve enerji tüketimi ile etkilerini incelemiştir. Sonuç olarak dış kabukta yer alan cam yüzey güneş enerjisi toplam geçirgenliğinin (SHGC), iç mekân ısı konforu ve enerji tüketimini etkileyen en önemli parametre olduğu görülmüştür.

Binalarda enerji verimliliği ve kullanıcı konforunun optimize edilmesi ile ilgili çalışmalar literatürde yer almakta olup belirtilen amaçların optimize edilmesi ile ilgili farklı deneysel çalışmalar, analizler, ölçümler ve farklı yapay zekâ algoritmalarının kullanıldığı dikkat çekmektedir. Ancak amaçların optimize edilmesinden önce etkili parametrelerin seçimi ve bu seçimlere yönelik yöntemlerle ilgili çalışmaların sayısı oldukça azdır. Çalışmanın amacı, bina enerji tüketimi ve kullanıcı ısı konfor performansını optimize etmek ve çok amaçlı optimizasyon için etkili olan tasarım parametrelerini belirlemektir.

## 2. YÖNTEM

Bu çalışmada Taguchi Tabanlı Yanıt Yüzey Metodolojisinin entegrasyonuna dayalı bir yöntem kullanılmıştır. Belirlenen tasarım parametreleri ve amaçlar için referans bina olarak BESTEST bina modeli seçilmiştir. Deneysel tasarımı kapsamında tasarım parametreleri ve amaçların belirlenmesinden sonra simülasyonlar yapılmıştır. Bina simülasyonu için Rhino/Grasshopper programları aracılığıyla EnergyPlus programı kullanılmıştır. İlk aşamada binaya ait on farklı tasarım parametresini dikkate alan çalışmada, Taguchi yönteminin uygulanmasıyla en etkili altı parametre belirlenmiştir.

Etkili parametrelerin belirlenmesiyle Yanıt Yüzey Metodolojisi uygulanarak kullanıcı konforunu iyileştirmeye ve bina enerji tüketimini azaltmaya yönelik çok amaçlı optimizasyon gerçekleştirilmiştir.

### 2.1. Seçilen Bina ve Simülasyonu

Çalışmada, BESTEST 630/930 modeli referans olarak seçilmiştir. Genel olarak, farklı çalışma koşulları altında bina modellerinin doğruluğunu analiz etmek için farklı test senaryoları kullanılabilir. Uluslararası enerji ajansının, bina enerji modelleri için uygun doğrulama (kalibrasyon) metodolojileri geliştirmek amacıyla çeşitli projeleri incelediği belirtilmektedir [12,13]. Bunlar arasında BESTEST modeli, sunulan simülasyon kodunun doğruluğunu değerlendirmek için kullanılan bir model olarak tanımlanmıştır [14]. BESTEST referans binasının özellikleri, ABD ve Avrupa inşaatları arasındaki yönetmeliklere yanıt vermekle birlikte basit bir dikdörtgen geometrisi ve iç bölmeleri olmayan tek bir ısı bölge olarak modellenmektedir. Bina, **Şekil 1**'de gösterildiği gibi dikdörtgen prizma geometrisinde, tek katlı, düşük kütleli, 48 m<sup>2</sup> taban alanı ve 129,6 m<sup>3</sup> hacme sahiptir. BESTEST bina modelinde, hafif ve ağır binalar için iki dizi yeterlilik durumu dikkate alınır [15]. Bu çalışma için BESTEST bina geometrisi, 630 ve 930 bina modeli dikkate alınarak modellenmiştir. BESTEST yeterlilik durumları için sızdırmazlık değeri 0,5 ACH, iç kazançlar 200 W, sıcaklık ayar noktaları ısıtma için 20 C° ve soğutma için 27 C° (sürekli mod) çalışma özellikleri kullanılmıştır [14]. BESTEST yapı malzemelerinin termofiziksel özellikleri ve yeterlilik durumları bina simülasyonu ve modellemesinde kullanılmıştır. Referans bina Rhino/Grasshopper'da modellenmiş (**Şekil 1**) ve Grasshopper eklentisi olarak LadybugTools, bina simülasyon aracı olarak kullanılmıştır. Ladybug; çevreye duyarlı tasarım ve simülasyonu destekleyen ücretsiz bilgisayar uygulamalarından oluşan bir koleksiyon olup EnergyPlus Hava Durumu dosyalarını (.EPW) Grasshopper'a aktarılmasını ve erken tasarım aşamasında çeşitli iklim grafiklerinin görselleştirilmesini sağlar. Honeybee ise erken tasarım aşamasından sonraki süreçlerde gün ışığı ve termodinamik modellemeyi sağlar. Görsel konfor simülasyonlarının sonuçları için Radiance yazılımını kullanırken enerji modelleri için EnergyPlus/OpenStudio yazılımlarını kullanır [16].



Şekil 1: Referans binanın modellenmesi ve simülasyona hazırlanması.

## 2.2. Deneysel Tasarım

Bu çalışmada, kullanıcı ısı konforu için Tahmini ortalama Oy (PMV) ve bina enerji tüketimi çıktı olarak seçilmiştir. İlk aşamada tasarım parametreleri olarak camlı yüzeylere ait özellikler (ısı geçirgenlik katsayısı (U-değeri), güneş enerjisi toplam geçirgenliği (SHGC), gün ışığı geçirgenliği (Tvis), yönelim, pencere duvar oranı (PDO), kullanıcı yoğunluğu, sızdırmazlık değeri (ACH), çatı, zemin döşemesi ve duvar elemanlarının ısı geçirgenlik katsayıları (U-değeri) seçilmiştir. Bu parametreler üzerinde deney tasarımına uygun 16 adet simülasyon yapılmıştır. Her parametreye ait düzeyler Çizelge 2’de tanımlanmıştır. Bu düzeyler literatürde ve TS 825’de yaygın olarak kullanılan değerler olarak seçilmiştir.

Çizelge 2: İki düzeyli on faktöre ait değerler.

Parametreler	Alt seviye	Üst seviye	Birim
Cam yüzey U-değeri (A)	0,8	2,4	W/m <sup>2</sup> K
Cam SHGC değeri (B)	0,1	0,8	-
Cam Tvis değeri (C)	0,1	1,0	%
Yönelim (D)	0	270	°
Pencere duvar oranı (E)	0,3	0,6	%
Kullanıcı yoğunluğu (F)	0,01	0,05	per/m <sup>2</sup>
Çatı U-değeri (G)	0,2	0,4	W/m <sup>2</sup> K
Dış duvar U-değeri (H)	0,15	0,6	W/m <sup>2</sup> K
Sızdırmazlık değeri (İ)	0,5	2,0	ACH
Zemin döşemesi U-değeri (I)	0,2	0,6	W/m <sup>2</sup> K

Taguchi yönteminde tercih edilen kalite özelliği olarak sinyal-gürültü (S/N) oranı kullanıldı. Hedef fonksiyonu hesaplandıktan sonra Sinyal-Gürültü oranına dönüştürülme işlemi gerçekleşir. Böylece kalite özelliklerinin Sinyal-Gürültü oranı Taguchi yönteminin tanımında Daha Büyük Daha İyi, Nominal Daha İyi ve Daha Küçük Daha İyi olarak bölünür. Bu çalışma, kullanıcı ısı konforu hedef alınarak PMV’nin sıfır değerine yakın ve bina enerji tüketiminin azaltılmasını amaçlamaktadır. Bu



durumda, Sinyal-Gürültü oranını hesaplamak için Ne Kadar Küçükse Daha İyi (STB) kullanılır [17,18]. Taguchi yönteminin uygulanmasıyla en etkili parametreler ve sıralaması belirlenmiştir. Etkili parametreler belirlendikten sonra çok amaçlı optimizasyon için Yanıt Yüzey Metodolojisi (RSM) uygulanmıştır. Taguchi yönteminden farklı olarak Yanıt Yüzeyi Metodolojisi temel olarak istatistiksel ve deneysel yöntemleri veri uydurma teknikleriyle birleştirir [17]. RSM, bir veya daha fazla ölçülen yanıt ile çoklu girdi değişkenleri arasındaki ilişkileri ortaya çıkarır [19]. Aynı zamanda RSM, yanıt ile onu etkileyen faktörler arasındaki ilişkiyi tanımlamak için istatistiksel modelleri kullanır. RSM’de yaygın olarak kullanılan modeller birinci derece ve yüksek dereceli modelleri içerir. RSM yaklaşımıyla optimizasyon süreci ilk olarak girdi ve yanıtların belirlenmesiyle başlar. Probleme uygun bir şekilde deney tasarım yöntemi seçilir. Seçilen yöntemin doğrulanması ve güvenilirliği için istatistiksel analizler yapılır (Regresyon ve ANOVA analizleri). İstatistiksel analizler sonucunda girdi ve yanıtlar arasında modellere ait denklemler elde edilir. Son olarak model doğrulandıktan sonra optimum koşullar belirlenerek süreç sonlanır [20].

### 3. BULGULAR

Referans binaya ait tasarım değişkenleri tanımlandıktan sonra deney tasarımına ait 16 adet çözüm sunulmuştur. Bu çözümlere ait veriler ile kullanıcı ısı konforu ve binanın enerji tüketimi simülasyon programı ile hesaplanmıştır. Sonrasında etkili parametrelerin belirlenmesi ve optimizasyon için çözümler verilen sıralamaya uygun bir şekilde kaydedilmiştir. **Çizelge 3**, çalışmaya ait tasarım değişkenlerini, simülasyon sonuçlarını ve hesaplanan S/N oranlarıyla kullanıcı ısı konforu (PMV) ve bina enerji tüketimine ilişkin ilgili deneysel sonuçları göstermektedir. Ortalama S/N oranı, kullanıcı ısı konforu ve bina enerji tüketiminin azaltılmasında en uygun tasarım parametrelerini elde etmek amacıyla Minitab 21 yazılımındaki Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem %95’lik bir güven düzeyi (anlamlılık düzeyi 0,05) kullanılarak hesaplanmış ve optimum tasarım parametreleriyle amaçlara ulaşmak için “ne kadar küçükse o kadar iyi” seçeneği dikkate alınarak analizler yapılmıştır.

**Çizelge 3:** Faktörler ve yanıt değerlerini kullanan deneysel tasarım.

A	B	C	D	E	F	G	H	İ	I	Enerji tüketimi (kWh)	PMV	S/N oran
2,4	0,8	0,1	270	0,3	0,01	0,2	0,6	0,5	0,6	3205	0,36	-67,1
0,8	0,8	1	0	0,3	0,01	0,4	0,6	2	0,2	5522	0,28	-71,8
2,4	0,1	1	270	0,3	0,01	0,4	0,15	0,5	0,2	3266	0,27	-67,2
2,4	0,8	1	270	0,6	0,05	0,4	0,6	2	0,6	6297	0,29	-72,9
2,4	0,1	0,1	0	0,6	0,01	0,4	0,6	0,5	0,2	4561	0,19	-70,1
0,8	0,8	0,1	0	0,6	0,05	0,2	0,6	0,5	0,2	3408	0,69	-67,6
2,4	0,1	0,1	270	0,6	0,05	0,2	0,15	2	0,2	5972	0,15	-72,5
0,8	0,1	0,1	270	0,3	0,05	0,4	0,6	0,5	0,6	3370	0,31	-67,5
0,8	0,8	0,1	270	0,6	0,01	0,4	0,15	2	0,2	4841	0,4	-70,6
2,4	0,1	1	0	0,3	0,05	0,2	0,6	2	0,2	5855	0,16	-72,3
0,8	0,8	1	270	0,3	0,05	0,2	0,15	0,5	0,2	2394	0,62	-64,5
0,8	0,1	0,1	0	0,3	0,01	0,2	0,15	2	0,6	4833	0,15	-70,6
0,8	0,1	1	270	0,6	0,01	0,2	0,6	2	0,6	5502	0,14	-71,8
2,4	0,8	0,1	0	0,3	0,05	0,4	0,15	2	0,6	5530	0,26	-71,9
0,8	0,1	1	0	0,6	0,05	0,4	0,15	0,5	0,6	3044	0,34	-66,6
2,4	0,8	1	0	0,6	0,01	0,2	0,15	0,5	0,6	3747	0,47	-68,4

### 3.1. Deney Faktörlerinin Analizi

Her deney faktörünün (A, B, C, D, E, F, G, H, İ, I) kullanıcı ısı konforu ve bina enerji tüketimi üzerindeki etkisinin analizi, S/N yanıt tablosu ile gerçekleştirilmiştir. Kullanıcı ısı konforu ve bina enerji tüketimine ilişkin S/N yanıt tablosu **Çizelge 4**'te yer almakta olup her düzeyde deneysel faktörlerin hesaplanan S/N oranlarını gösterir. Deneysel tasarım sonuçlarında yüksek bir Sinyal/Gürültü bulunursa bu çalışma ile sapmanın düşük ve parametrelerin anlamlı olduğu sonucuna varılabilir. En güçlü etkiye sahip deneysel faktör, **Çizelge 4**'te gösterildiği gibi delta değerine bağlı olarak belirlenmiştir. Delta, belirli bir deneysel faktör için maksimum ve minimum S/N oranları arasındaki farka eşittir. Delta değeri ne kadar yüksek olursa deneysel faktör o kadar etkili olur [17,21]. Deneysel faktörler ve bunların etkileşimleri delta değerlerine göre sıralanmıştır.

**Çizelge 4:** PMV ve bina enerji tüketimi için S/N yanıt tablosu.

Level	A	B	C	D	E	F	G	H	İ	I
1	-68,93	-69,87	-69,77	-69,95	-69,15	-69,75	-69,39	-69,09	-67,43	-69,63
2	-70,33	-69,39	-69,49	-69,31	-70,11	-69,51	-69,87	-70,18	-71,83	-69,63
Delta	1,41	0,48	0,28	0,64	0,97	0,24	0,48	1,09	4,40	0,00
Sıralama	2	7	8	5	4	9	6	3	1	10

**Çizelge 4**'te kullanıcı ısı konforuna ve bina enerji tüketimine etki eden en önemli değişkenin sıra değeri 1 ve deltası 4,40 olan "Sızdırmazlık değeri" parametresi olduğu görülmektedir. Bu durumda "Sızdırmazlık değeri" parametresinin performans karakteristiği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Ek olarak cam yüzey ve dış duvar ısı geçirgenlik değerlerinin de performans üzerinde oldukça etkili oldukları görülmektedir. Performans karakteristiğine etkilerine göre önem sırasının en düşük delta ile "zemin döşemesi U- değeri", " Cam Tvis değeri " ve "kullanıcı yoğunluğu" olduğu görülmektedir.

### 3.2. Yanıt Yüzey Metodolojisi (RSM) ve Çok Amaçlı Optimizasyon

RSM yöntemi için Taguchi yönteminden elde edilen ortalama PMV ve bina enerji tüketimi değerleri kullanılmıştır. Optimizasyon için pencere, dış duvar ve çatı elemanlarına ait ısı geçirgenlik katsayı değerleri, yönelim, pencere duvar alanı oranı ve sızdırmazlık değeri gibi S/N oranı yüksek olan parametreler seçilmiştir. RSM tabanlı model, seçilen parametrelerin kullanıcı ısı konforu ve bina enerji tüketimi üzerindeki ana ve etkileşim etkisi regresyon modeli ile gözlemlenmiştir. RSM modelinin varyans analizi (ANOVA) sonuçları **Çizelge 5**'te verilmiştir. Model denkleminin istatistiksel önemi F-testi ile değerlendirilmiştir. Her katsayının önemi, F-değerleri ve P-değerleri tarafından belirlenmiştir. **Çizelge 5**'ten, modelin oldukça anlamlı olduğu ( $P < 0.0001$ ) ve RSM'nin güvenli bir model olduğu görülmektedir. Ek olarak seçilen altı parametre anlamlı model terimleridir ( $p < 0.05$ ). Optimal parametre bileşimini elde etmek için Arzu edilebilirlik fonksiyonu kullanılarak çözümler üretilmiştir [22]. Arzu edilebilirlik fonksiyonu yaklaşımı, çoklu yanıt optimizasyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu fonksiyonunun ölçeği 0 ile 1 arasında değişmektedir ( $0 < di < 1$ ). Bu değer 1'e yaklaşması çalışmada belirlenen kriterlerin daha iyi sağlandığını gösterir [23].

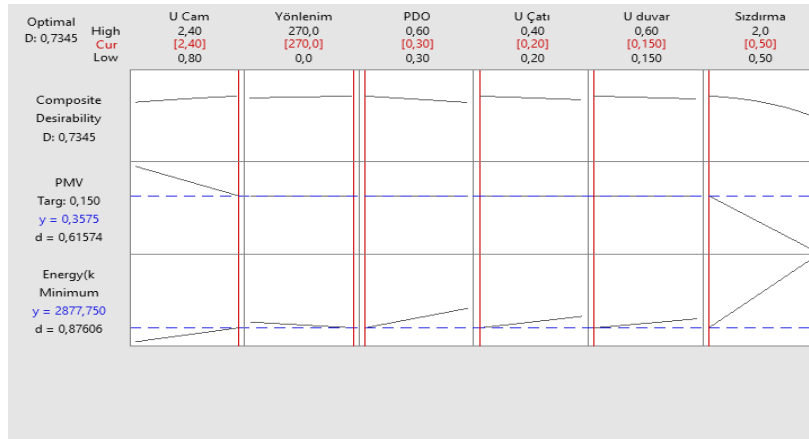
**Çizelge 5:** Varyans analizi (ANOVA) ve model özeti.

Kaynak	Serbestlik derecesi	Karelerin toplamı	Ortalama kareler	F-Değeri	P-Değeri
Model	13	23335634	1795049	2681,93	0,000
Doğrusal	6	22815294	3802549	5681,28	0,000
U-Pencere	1	1903710	1903710	2844,28	0,000
Yönelim	1	170776	170776	255,15	0,004
PDO	1	721226	721226	1077,56	0,001
U-Çatı	1	143452	143452	214,33	0,005
U-duvar	1	1047041	1047041	1564,35	0,001
Sızdırmazlık	1	18829091	18829091	28131,99	0,000
2- Yönlü etkileşim	7	520340	74334	111,06	0,009
U-Pencere *Yönelim	1	4001	4001	5,98	0,134
U-Pencere *PDO	1	261377	261377	390,51	0,003
U-Pencere *U Çatı	1	3452	3452	5,16	0,151
U-Pencere *U duvar	1	103523	103523	154,67	0,006
U-Pencere *Sızdırmazlık	1	9653	9653	14,42	0,063
Yönelim*U-duvar	1	5293	5293	7,91	0,107
U-Çatı*Sızdırmazlık	1	133043	133043	198,77	0,005
Hata	2	1339	669		
Toplam	15	23336972			

Model özeti			
S	R-sq	R-sq(ayarlanmış)	R-sq(tahmini)
25,8711	99,99%	99,96%	99,63%

**Şekil 2**, optimum parametre bileşimini ve Arzu edilebilirlik fonksiyonu tarafından elde edilen tahmin edilen yanıtları göstermektedir. Burada y, PMV ve bina enerji tüketiminin minimum tepkisidir, d ise bireysel Arzu edilebilirlik fonksiyonu olup D, hedefe ulaşmak için kullanılan Bileşik Arzu edilebilirlik fonksiyonudur. Bu çalışma çok amaçlı yanıtları içermektedir; dolayısıyla bileşik Arzu edilebilirlik ve bireysel Arzu edilebilirlik fonksiyonları farklılık göstermektedir.



**Şekil 2:** En uygun parametre bileşimi ile tahmin edilen yanıtlar.

RSM ile hedefe ulaşmak için kullanılması gereken optimal koşullar Tablo 6’da sunulmuştur. Optimum parametre değerlerinin sağlanmasıyla PMV değeri 0,35 ve bina enerji tüketim değeri 2877,75 kWh olarak görülmektedir. Ayrıca bu değerlerin optimize edilmesiyle toplam Arzu edilebilirlik fonksiyonununun 0,73 olduğu saptanmıştır.

**Çizelge 6:** Optimum çözümlere yönelik sonuçlar.

Çözüm	U- Cam Yüzey	Yönelim	PDO	U-Çatı	U-duvar	Sızdırmazlık	PMV	Enerji (kWh)	Arzu edilebilirlik
1	2,4	270	0,3	0,2	0,15	0,5	0,35	2877,75	0,73

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, binaya ait farklı tasarım parametrelerinin PMV ve enerji tüketimi üzerindeki etkisi Taguchi tabanlı RSM yöntemi kullanılarak incelenmiştir. İlk olarak yanıtlar üzerinde etkili on parametre dikkate alınarak simülasyonlar yapılmıştır. Sonraki aşamada Taguchi yöntemi kullanılarak optimizasyon için cam yüzey, dış duvar ve çatıya ait ısı geçirgenlik değerleri, yönelim, pencere/duvar alanı oranı ve sızdırmazlık değeri gibi S/N oranı yüksek olan etkili parametreler seçilmiştir. Seçilen etkili parametreler ile ilgili sonuçlar ANOVA analizi, model güvenilirlik analizi, sinyal-gürültü etkisi ve yanıtlar için arzu edilebilirlik grafikleri ile analiz edilmiştir. Önerilen ikinci dereceden model, yanıtların tahmini için geliştirilmiştir. Genel olarak sonuçlara bakıldığında, yanıtlar üzerinde en etkili faktör sızdırmazlık değeri olurken en az etkili olan faktör zemin döşemesine ait ısı geçirgenlik katsayısı olmuştur. Optimum parametre değerlerinin sağlanmasıyla PMV değeri 0,35 ve bina enerji tüketim değeri yıllık 2877,75 kWh olarak belirlenmiştir. Mevcut durumla karşılaştırıldığında enerji tüketiminde %19,38 bir azalma sağlanırken PMV değerinde ise artış görülmüştür. Enerji tüketimi ve ısıl konforun birlikte değerlendirildiği tasarım parametrelerinin optimizasyonunu ele alan bu çalışma alanına katkı sunarak gelecekteki çalışmalara ışık tutacaktır.

#### KAYNAKLAR

1. P. M. Cuce and S. Riffat, "A state of the art review of evaporative cooling systems for building applications," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **54**, (2016) pp: 1240–1249.
2. J. C. Ciscar and P. Dowling, "Integrated assessment of climate impacts and adaptation in the energy sector," *Energy Econ*, **46**, (2014) pp: 531–538.
3. A. Bastide, P. Lauret, F. Garde, and H. Boyer, "Building energy efficiency and thermal comfort in tropical climates. Presentation of a numerical approach for predicting the percentage of well-ventilated living spaces in buildings using natural ventilation," *Energy Build*, **38**, (2006), pp: 1093–1103.
4. L. Yang, H. Yan, and J. C. Lam, "Thermal comfort and building energy consumption implications - A review," *Applied Energy*, **115**, (2014), pp: 164–173.
5. A. Albatayneh, D. Alterman, A. Page, and B. Moghtaderi, "The impact of the thermal comfort models on the prediction of building energy consumption," *Sustainability*, **10**, (2018).
6. B. Chegari, M. Tabaa, E. Simeu, F. Moutaouakkil, and H. Medromi, "Multi-objective optimization of building energy performance and indoor thermal comfort by combining artificial neural networks and metaheuristic algorithms," *Energy Build*, **239**, (2021).
7. I. Bosu, H. Mahmoud, S. Ookawara, and H. Hassan, "Applied single and hybrid solar energy techniques for building energy consumption and thermal comfort: A comprehensive review," *Solar Energy*, **259**, (2023), pp: 188–228.
8. D. Kim, H. Lim, J. Moon, J. Park, and G. Rhee, "Heating performances of a large-scale factory evaluated through thermal comfort and building energy consumption," *Energies*, **14**, (2021).

9. P. Jafarpur and U. Berardi, "Effects of climate changes on building energy demand and thermal comfort in Canadian office buildings adopting different temperature setpoints," *Journal of Building Engineering*, **42**, (2021).
10. X. Chen, Y. Cai, X. Xiao, Y. Zheng, and A. Yang, "Solar Energy Compensation for Building Energy Saving with Thermal Comfort in a Cold Climate," *Electronics*, **11**, (2022).
11. S. Yang, F. Fiorito, D. Prasad, A. Sproul, and A. Cannavale, "A sensitivity analysis of design parameters of BIPV/T-DSF in relation to building energy and thermal comfort performances," *Journal of Building Engineering*, **41**, (2021).
12. E. M. Ryan and T. F. Sanquist, "Validation of building energy modeling tools under idealized and realistic conditions," *Energy Build*, **47**, (2012) pp: 375–382.
13. M. S. Al-Homoud, "Computer-aided building energy analysis techniques," *Build Environ*, **36**, (2001), pp: 421-433.
14. A. Buonomano, "Code-to-code validation and application of a dynamic simulation tool for the building energy performance analysis," *Energies (Basel)*, **9**, (2016).
15. J. Neymark and R. Judkoff, "International Energy Agency Building Energy Simulation Test and Diagnostic Method for Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Equipment Models (HVAC BESTEST): Cases E100-E200," **1**, (2002).
16. "Ladybug Tools." Accessed: Jan. 10, 2024. [Online]. Available: <https://www.ladybug.tools/honeybee.html>
17. Y. T. Jou, W. T. Lin, W. C. Lee, and T. M. Yeh, "Integrating the taguchi method and response surface methodology for process parameter optimization of the injection molding," *Applied Mathematics and Information Sciences*, **8**, (2014), pp: 1277–1285.
18. G. Taguchi, S. Chowdhury, and Y. Wu, "Taguchi's Quality Engineering Handbook," Wiley-Interscience, 2004.
19. F. Ghorbani, H. Younesi, S. M. Ghasempouri, A. A. Zinatizadeh, M. Amini, and A. Daneshi, "Application of response surface methodology for optimization of cadmium biosorption in an aqueous solution by *Saccharomyces cerevisiae*," *Chemical Engineering Journal*, **145**, (2005), pp: 267–275.
20. M. H. M. Hazwan, Z. Shayfull, S. Sharif, S. M. Nasir, and N. Zainal, "Optimisation of warpage on plastic injection moulding part using response surface methodology (RSM)," in *AIP Conference Proceedings*, (2017).
21. E. Daniğman and Y. Yalçındağ, "Process Improvement and an Application with Taguchi Method in Food Industry Taguchi Yöntemiyle Süreç İyileştirme ve Gıda Sektöründe Bir Uygulama," 2023.
22. Y. Liu, X. jia Wang, S. Zhou, and H. Chen, "Enhancing public building energy efficiency using the response surface method: An optimal design approach," *Environ Impact Assess Rev*, **87**, (2021).
23. D. H. Lee, I. J. Jeong, and K. J. Kim, "A desirability function method for optimizing mean and variability of multiple responses using a posterior preference articulation approach," *Qual Reliab Eng Int*, **34**, (2018), pp: 360–376.

## **BİNALARDA GÜNEŞİĞİ PERFORMANSI DEĞERLENDİRME METODLARI VE KULLANIM ALANLARI**

Semih Göksel Yıldırım<sup>1</sup>

Stuart Werner Baur<sup>2</sup>

Mehmet Şener Küçükdoğan<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> İstanbul Gelişim Üniversitesi, Avcılar, İstanbul

<sup>2</sup> Missouri University of Science and Technology, Rolla, Missouri

### **ÖZET**

Güneş ışınımının ısısal ve ışıksal etkisinden yararlanan güneşiği odaklı bina tasarımında farklı performans ölçüm metodları araştırmacılar arasında kullanılmaktadır. Bu metodların bir kısmı, tasarımcılar arasında da bilinmekle birlikte, karmaşıklığı yüzünden tam olarak yaygınlaşmamıştır. Bu bağlamda, güneş dekatlonu yarışmaları, güneşiği performans ölçümlerine yönelik akademik çalışmaların kullanılabilmesi için uygun zeminler olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle, bu yarışmalara daha önceden katılmış, daha sonra Üniversitelerin kampüs alanına kurulup, işletilmekte olan bu binalar, ideal araştırma laboratuvarı konumundadırlar. Ön tasarım ve kesin proje aşamalarında, güneş yörüngesi analizi, kütleli çalışma, güneş kontrolü sistemlerinin tasarımı, bilgisayar simülasyonu, yüksek dinamik aralık görüntüleme tekniği, fiziksel ölçekli model ile heliodon analizi gibi ölçüm metodları kullanılabilir. Bu kapsamda yürütülecek bir araştırmaya ilişkin bir çerçeve çizilmekte, tasarımcılara ve akademik ortama etkileri incelenmektedir. Bilimsel çalışma temellerine dayanan performans ölçümleri geleceğin yapı üreticilerini ve tasarımcılarını yönlendirmektedir. Bunun için de belirtilen performans ölçümleri eğitim alanında da uygulama alanı bulmuştur. Müfredat içeriğine deneysel öğrenme olarak dahil edilmektedir.

*Anahtar sözcükler: Güneşiği, performans ölçümü, pasif iklimlendirme, güneş dekatlonu*

### **ABSTRACT**

Different performance measurement methods are used among researchers in daylight-oriented housing design that utilizes the thermal and luminous effects of solar radiation. Although some of these methods are known among designers, they have not become widespread due to their complexity. In this context, solar decathlon competitions are suitable grounds for academic studies on daylighting performance measurements. In particular, these buildings, which have already participated in these competitions and which have been re-installed and operated in the campus area of universities, are ideal research laboratories. In the preliminary design and final project stages, measurement methods such as solar path analysis, massing study, sunlight shading calculation, computer simulation, high dynamic range imaging technique, heliodon analysis with physical scale model can be used. A framework for a research to be conducted in this context is drawn and its implications for designers and the academic environment are investigated. Performance measurements based on scientific studies guide the building manufacturers and designers of the future. For this reason, these performance measurements have also found application in the field of education. It is inserted into the curriculum content as experimental learning.

*Key words: Daylighting, performance measurement, passive control systems, solar decathlon*

<sup>1</sup> e-posta adresi: sgyildirim@gelisim.edu.tr

<sup>2</sup> e-posta adresi: baur@mst.edu

<sup>3</sup> e-posta adresi: mskucukdogu@gelisim.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Enerji verimli bir yapının gerçekleştirilmesi için çeşitli aktif ve pasif sistemler bina tasarımı aşamasında kullanılmaktadır. Bunlar içinden doğal aydınlatma ve yapma aydınlatmaya ilişkin çözümler de önemli bir yer tutmaktadır. Doğal aydınlatmanın doğru kullanılması ile mekânlara ilişkin ihtiyaç duyulan en az aydınlık düzeyleri sağlanabilmekte ve dolayısıyla yapma aydınlatmaya ihtiyaç ta azalmaktadır. Dünyadaki yapı stokunun büyük çoğunluğunun konut yapıları olması ve önemli oranda enerji kullanımının söz konusu olması sebebiyle, Amerika Birleşik Devletleri’nde 2002 yılında güneş dekatlonu yarışması başlatılmış olup, “Missouri Bilim ve Teknoloji Üniversitesi” bu yarışmaya en başından bu yana katılım göstermektedir. Farklı disiplinlerdeki öğrenciler “Öğrenci Tasarım ve Deneysel Öğrenme Merkezi” bünyesinde bu yarışmalara iki yıllık periyotlar halinde dahil olmaktadır. Fiziki olarak üretilen enerji verimli konutlara ait paneller ve materyaller yarışmanın düzenlendiği eyalete nakledilmektedir. Yarışmanın sonuçlanması ile tekrar kampüse geri getirilmektedir. Kampüste oluşturulan “Güneş Köyü” alanına bu konutlar kalıcı olarak yerleştirilmekte ve “yaşayan laboratuvarlar” olarak Üniversite ve çevresinin kullanımına sunulmaktadır [1]. Bunlara örnek olarak, 2009 (Show-me solar), 2013 (Chameleon) ve 2015 (The Nest) güneş evleri **Şekil 1**’de sunulmaktadır.



**Şekil 1:** “Güneş Dekatlonu” katılımları ile Missouri Bilim ve Teknoloji Üniversitesi kampüsünde güneş köyü oluşturulması [1]

Güneş evlerinin tasarımında öğrenciler büyük oranda Üniversite’deki danışmanlarının tecrübelerinden yararlanmakta, belirli tasarım ve performans ölçüm metotlarını kullanmaktadır. Yarışma projesine hazırlanırken, ön tasarımdan, kesin proje aşamasına geçildiğinde genellikle bilgisayar simülasyonu kullanılmaktadır. Ancak tamamlanmış yapıların kampüste yaşayan laboratuvar olarak kullanımda olması başka ölçüm metotlarını da gündeme getirmektedir. Dolayısıyla binaların ilk tasarımından kullanım sonrasındaki farklı süreçlerde doğal aydınlatma performansı ölçüm metotlarının neler olduğunun incelenmesine ihtiyaç duyulmuştur.

İnşaat, Mimarlık ve Çevre Mühendisliği Bölümü’nde deneysel bir seçmeli ders olarak “doğal aydınlatma” dersi açılmış olup bu kapsamda, geliştirilecek ders dokümanlarının aynı zamanda “güneş köyünde” yürütülecek doğal aydınlatma araştırmalarına da zemin olması hedeflenmiştir. Çalışma, önceden güneş dekatlonu yarışmasına katılmış daha sonra üniversite kampüsünde yer alan laboratuvar niteliğindeki konut binalarının günışığı performansının değerlendirilmesi ihtiyacından yola çıkılarak geliştirilen deneysel ders kapsamındaki günışığı performansı değerlendirme ölçütlerinin açıklanmasını kapsamaktadır. Güneş yörüngesi analizi, kütleli çalışma, güneş ışınımının ısısal ve ışıksal etkisi, gölgeleme hesaplaması, bilgisayar simülasyonu, yüksek dinamik aralık görüntüleme tekniği, fiziksel ölçekli model ile heliodon analizi” yöntemleri tasarım ve kullanım sonrasında kullanılacak yöntemler olarak karşımıza çıkmaktadır.

## 2. MEKANLARIN DOĞAL AYDINLATMA DÜZEYLERİNİN ÖLÇÜMÜ

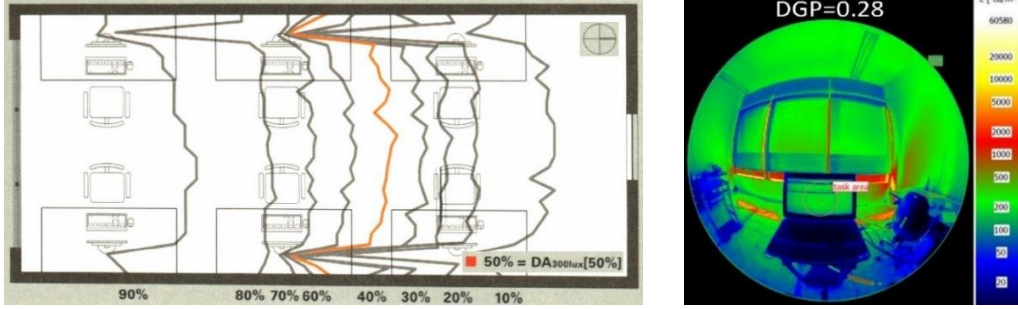
Gün ışığı kullanılabilirliği, cephelerden odaya iletilen mevcut gün ışığını tanımlar. Bu ölçütler, gün ışığı faktörü (DF) ve belirli bir zamana ilişkin aydınlık düzeyi gibi statik olanlar ve, gün ışığı özerkliği (DA), faydalı gün ışığı aydınlığı (UDI) veya yıllık güneşlenme süresi (ASE) gibi dinamik/iklim temelli olanlar olarak ayrılabilir [2; 3]. Bir binanın içindeki aydınlık ve parıltı düzeylerinin ölçümünde zaman faktörünün devreye girmesi ile iklime dayalı gün ışığı ölçüm metodları gündeme gelmektedir [3]. Dinamik veya iklim temelli ölçütler adından da anlaşılacağı gibi, yıllık aydınlık profillerinden, yani yerel iklim verileri kullanılarak oluşturulan gün ışığına bağlı iç aydınlık veya parıltı düzeylerinin saatlik zaman serileri üzerinden ölçümü ile türetilir [4; 5]. Bu ölçümler LEED v4 kriterlerini ve Kuzey Amerika Aydınlatma Mühendisliği Topluluğu (IESNA) tarafından aydınlatma ölçüm protokolünü karşılamak için kullanılmaktadır [6].

Gün ışığı kullanılabilirliğinin ölçütü “gün ışığı faktörüdür” ve CIE standart kapalı gök koşulu altında iç mekandaki bir gözleme noktasındaki aydınlığın, dış mekandaki engelsiz gök altında yatay düzlem üzerinde ölçülen aydınlığa oranı olarak tanımlanır. Gün ışığı kullanılabilirliğinin bugüne kadarki en yaygın bilgisayar tabanlı değerlendirmesi, zeminden (genellikle masa yüksekliğinde) yatay düzlem üzerindeki gözleme noktalarından oluşan bir ızgara tanımlanması ve ardından bu gözleme noktalarındaki gün ışığının çeşitli kriterler/metrikler kullanılarak değerlendirilmesiyle başlar [7]. “Gün ışığı faktörü” (DF) tipik olarak iç mekanda gün ışığından gelen yatay çalışma düzlemi aydınlatmasının test edilen binanın dış mekandaki engelsiz gök altında yatay düzlem üzerinde ölçülen yatay aydınlatmaya bölünmesi ve ardından 100 ile çarpılmasıyla hesaplanır ( $DF = (E_i / E_o) \times 100\%$ ) [8]. DF yönteminin basitliği, bu metriği bina yönetmeliklerinde herhangi bir gün ışığı tavsiyesi olan ülkelerde en yaygın performans değerlendirme ölçütü haline getirmiştir [9].

Gün ışığı otonomisi (DA), bir mekan için gerekli en az aydınlık düzeyinin, yalnızca gün ışığı ile karşılanabildiği, yıl içindeki kapsadığı zamanların yüzdesi olarak tanımlanan iklime dayalı bir metriktir. IESNA komitesi şu anda ofisler, sınıflar ve kütüphane tipi alanlar için, yerel saatle sabah 8'den akşam 6'ya kadar kullanımda olan saatlerde 300lux hedef aydınlık düzeyini tercih etmektedir. IESNA aydınlatma ölçüm standartlarına göre, mekândaki bir noktanın gün ışığı otonomisi yılın kullanılan zamanlarının %50'sini aşarsa o nokta yeterince aydınlık olarak kabul edilir [7]. 300lux hedef aydınlık ve %50 eşik DA, kısaca DA300lux [%50], şu anda Kuzey Amerika Aydınlatma Mühendisliği Topluluğu (IESNA) tarafından açık ofisler, sınıflar, toplantı odaları ve çok amaçlı odalar gibi ortak çalışma ortamları için tavsiye edilen değerlerdir [10]. “DA” endeksinin sürekli gün ışığı özerkliği (cDA) ve mekansal gün ışığı özerkliği (sDA) gibi varyasyonları da mevcuttur [2]. Yararlı gün ışığı aydınlığı (UDI) olarak adlandırılan iklim temelli başka bir ölçüt 2006 yılında Mardaljevic ve Nabil tarafından tanıtılmıştır [11]. UDI büyük ölçüde DA'ya benzemekle birlikte, gün ışığının "faydalı" olması için 100lux ve 2000lux alt ve üst aydınlık eşiklerini tanımlar. Alt ve üst düzeyler nedeniyle, bir mekândaki her noktanın üç UDI değeri vardır, bunlar; bir noktadaki aydınlığın 100 lux'ün altında, 2000 lux'ün üzerinde veya arasında olduğu zamanların yüzdeleridir [7]. Yıllık güneşlenme süresi (ASE), ortam veya yaygın gök ışığı katkıları olmadan ve sDA'nın gerektirdiği dinamik gölgeleme cihazları olmadan 1000 lux'ü aşan doğrudan güneş ışığı geçişinin bir ölçüsüdür [6]. Bir mekandaki bir konuma 250 saat doğrudan güneş gelirse, o zaman aşırı aydınlatılmış olarak belirlenir ve bir mekanın taban alanının %10'undan fazlası aşırı aydınlatılmışsa, o zaman 'genel olarak tatmin edici olmayan' görsel rahatsızlığa sahiptir. Bir mekanın taban alanının %7'sinden daha azı aşırı aydınlatılmışsa 'nötr' ve %3'ünden daha azı aşırı



aydınlatılmışsa 'açıkça kabul edilebilir' olarak değerlendirilir [3]. Bunlar arasında, çalışma düzlemi aydınlığı (DF), DA ve UDI, ilgili araştırmalarda sıklıkla kullanılan ilk üç metriktir [2]. Görsel konforun ölçümünde kullanılan diğer bir yöntem de gün ışığı parıltı olasılığı (daylight glare probability - DGP) yöntemidir. Gün ışığı parıltı olasılığı hesaplamasında görünümün genel parıltısı, parıltı konumu ve görsel kontrast dikkate alınır [12]. “Gün ışığı parıltı olasılığı” 0,35 in veya %35’ in altındaki oranlar algılanamaz parıltı düzeyi olarak görülmekte ve kabul edilebilir limit değer olarak tanımlanmaktadır [13; 14]. Yatay çalışma düzlemindeki aydınlık düzeyinin ölçümünde kullanılacak metrikler (DF, DA veya UDI vb.) ile objelerin yüzeyinde oluşan yansıma ve algılanan parıltı düzeyinin ölçümünde kullanılan metrikler farklılık göstermektedir (Şekil 2).



**Şekil 2:** Örnek bir ofis için gün ışığı otonomisi (DA300lux[%50]) eş aydınlık düzeyi eğrileri(güneş kırıcısız) (solda) [10], örnek bir laboratuvar için “gün ışığı parıltı olasılığı” analizi ve fotoğraf ile haritalanması (sağda) [15]

### 3. TASARIM VE KULLANIM AŞAMALARINDA PERFORMANS ÖLÇÜM METODLARI

Doğal aydınlatma ile iç mekan termal özelliklerine ilişkin bir dengenin kurulması önem arz etmektedir [2; 16]. Genel olarak, bu dengeyi sağlamak için planda uygun bir genişlik-derinlik oranı, cephede uygun bir pencere-duvar oranı, yüksek şeffaflık ve ısı yalıtımlı camların kullanımı, kontrollü ayarlanabilir gölgelendirme ve verimli aydınlatma ekipmanları önerilmektedir [2]. Tasarım aşamasında bir mekana ilişkin doğal aydınlatma düzeyinin ölçümü için öncelikli olarak yukarıda belirtilen metriklerden hangisinin kullanılacağına karar verilmelidir. Sonrasında, örnek çalışmanın hangi aşamasında bu ölçümün veya analizin gerçekleştirileceği tespit edilmelidir. Tasarım ve kullanım süreçlerinde güneş yörüngesi analizi, güneş ışınımının ısısal ve ışıksal etkisi, kütleli çalışma, gölgeleme hesaplaması, bilgisayar simülasyonu, fiziksel ölçekli model ile heliodon analizi, yerinde fiziki ölçüm, yüksek dinamik aralıklı görüntüleme tekniği kullanılmaktadır (Çizelge 1).

**Çizelge 1:** Proje geliştirme ve bina kullanım süreçlerinde kullanılacak doğal aydınlatma ölçüm metodları

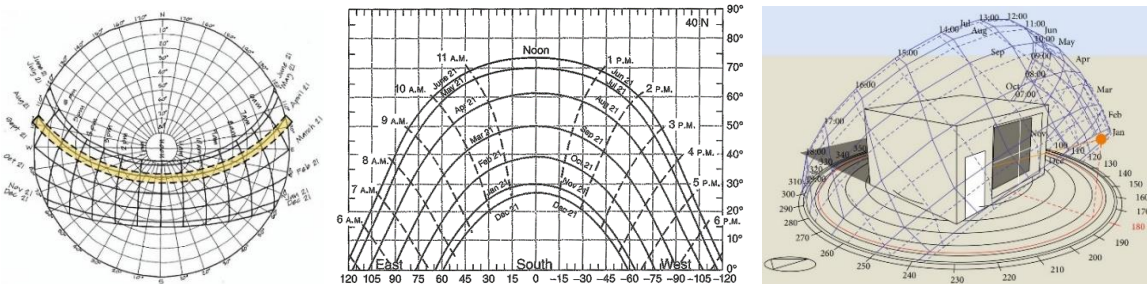
A. Tasarım sürecinde		B. Kullanım sürecinde
Ön tasarım aşamasında	Kesin proje aşamasında	
1-Güneş yörüngesi analizi	4-Bilgisayar simülasyonu	1-Yerinde fiziki ölçüm
2-Kütlesel çalışma	5-Fiziksel ölçekli model ile heliodon analizi	2- Yüksek dinamik aralıklı görüntüleme tekniği
3-Gölgeleme hesaplaması		

### 3.1. Tasarım Sürecinde Performans Ölçüm Metodları

Şematik tasarımda özellikle araziye ve binanın arazi üzerindeki konumuna göre günışığı-bina ilişkisi analiz edilir. Bu aşamada yapı kütesini ve mekânsal tasarımını yönlendirecek doğal aydınlatmaya ilişkin genel veriler ortaya çıkarılmaya çalışılır. Güneşin hareket yönüne göre cephe-mekân ilişkileri incelenir. Hangi yönlerin tasarlanacak mekânların doğal aydınlatma düzeylerini nasıl etkilediği araştırılır.

- **Güneş yörüngesi analizi**

Belirli bir bina alanına çarpan güneş ışınlarının yoğunluğu farklı dönemler için tahmin edilebilir ve olumsuz etkisi tasarımla yönetilebilir ve çözülebilir [17]. Güneş yörüngesi diyagramları ile, Güneş'in gökyüzündeki konumu belirlenebilir veya hesaplanabilir. Ayrıca, güneş yörüngesi diyagramları mimaride güneşin binayı nasıl etkileyeceğini analiz etmek için kullanılır [18]. Grafik gösterim teknikleri olarak en çok kullanılan yöntemler kutupsal (stereografik) ve silindirik (ortografik) projeksiyonlardır [19]. Stereografik diyagramlar, güneşin gün ve yıl boyunca gökyüzünde değişen konumunu temsil eder [12]. Güneş yörüngesi diyagramı, gökyüzünün yarım küre şeklindeki tonozu boyunca belirli bir enlem için güneşin yolunun iki boyutlu grafiksel bir temsildir. Güneş yörüngesi diyagramındaki üç boyutlu gökyüzü kubbesi, güneşin yolunun bir dizi eliptik eğriye dönüştüğü iki boyutlu dairesel bir ekrana yansıtılır (Şekil 3) [17; 19].



Şekil 3: 2 boyutlu stereografik güneş yörüngesi diyagramı (solda) [20], 2 boyutlu ortografik güneş yörüngesi diyagramı (ortada) [21], 3 boyutlu güneş yörüngesi analizi [22]

- **Kütlesel çalışma**

Bina kütle çalışmasında enerji ve çevre performansını iyileştirmek için tek bir parametre almak yerine çoklu parametrelerin karşılaştırılması ile bir optimizasyon sağlanabilmektedir. Burada belirtilen performans hedefleri enerji tüketimini, fotovoltaik enerji potansiyelini ve gün ışığı saatlerini içermektedir [23].

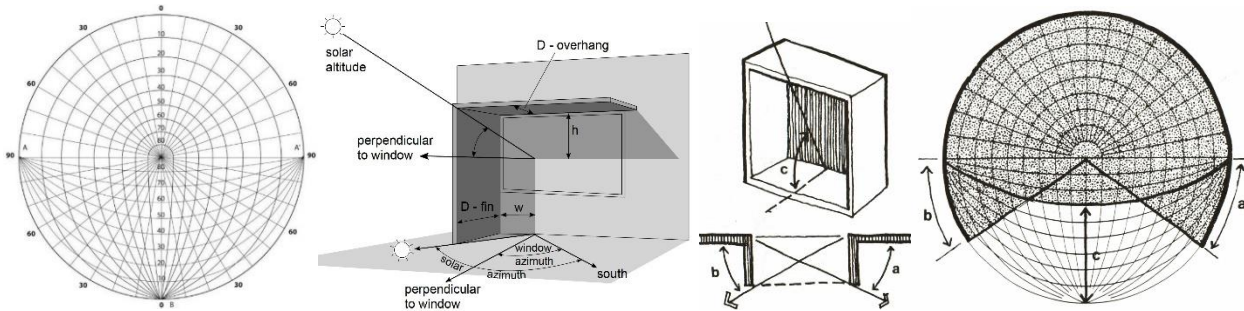


**Şekil 4:** Gökyüzüne maruz kalma analizi; kesit (solda) [26], kuzey-batı yönünden perspektif (ortada) [27], gökyüzü açısı hesaplaması (sağda) [10]

Bir binanın aydınlatması tasarlanırken, bina yerleşiminin ve yöneliminin yapay aydınlatma ihtiyacını azaltabileceği ve böylece kullanıcı memnuniyetini artırabileceği dikkate alınmalıdır. Güneş yörüngesine göre ayarlanmış bir bina düzeninin pencereler aracılığıyla yeterli gün ışığı sağlaması gerektiği kabul edilmektedir [24]. Kütle çalışmasının ön tasarımı aşamasında yaygın olarak kabul gören temel kurallar; atrium ve tepe aydınlatması kuralı, gökyüzüne maruz kalma düzlemi kuralı, pencere-duvar ve pencere-kat alanı oranları ve pencere tepe yüksekliğidir. Gökyüzü açısının hesaplanması, gün ışığı fizibilite testi için yararlı bir araçtır. Gün ışığı fizibilite testinden de burada bahsetmek gerekir. Temel fikir, bir mekânın yeterli doğal ışık alabilmesi için, minimum miktarda gün ışığı akısının bir pencereden mekana girebilmesini sağlayabilmektir (Şekil 4) [25].

#### • Gölgeleme hesaplaması

Güneş ışığı gölgeleme hesaplaması, proje sahanın güneşe maruz kalma düzeyinin değerlendirmesi, proje alanının güneş ışınımının erişimine engel objeleri/kütleleri gösterir gölgeleme maskesi ve pencere gölgeleme maskesi ile gerçekleştirilebilir. Stereografik diyagramların en önemli özelliklerinden biri, sahada zemin düzleminde gökyüzünü hedeflemiş bir balıkgözü mercekli fotoğraf makinası ile çekilmiş fotoğraf ile ilişkilendirilebilmesidir. Bu sayede alanın yıl boyunca günün hangi saatlerinde güneş ışınlarının alanda engellendiği ve gölgeleme zamanları hakkında veri sağlar (Şekil 5) [17].



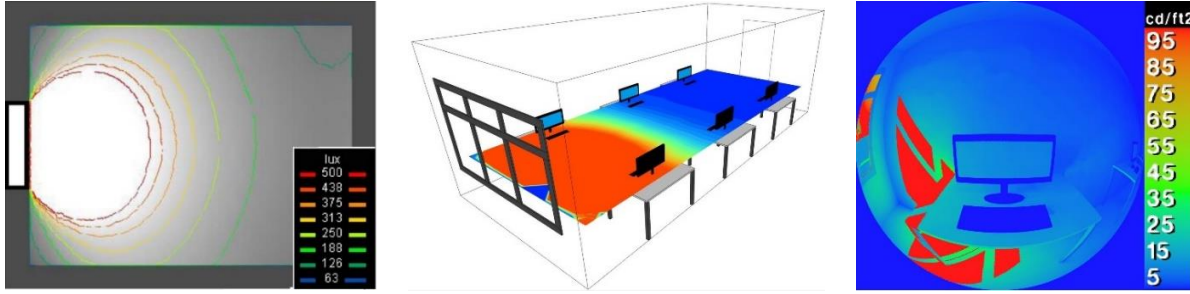
**Şekil 5:** Güneş gölgeleme açıölçeri (solda) [28], güneş kırıcı ölçülerinin hesaplaması (ortada) [29], yatay ve düşey gölgeleme elamanları kombinasyonlu gölgeleme maskesi (sağda) [26]

Şematik tasarım ile binanın genel konumlanışı belirlendikten sonra tasarlanan mekânların doğal aydınlatma düzeylerinin daha net anlaşılabilmesi için daha detaylı analizlere ihtiyaç duyulur ve

tasarım geliştirme aşamasında bu ihtiyaca çözüm aranır. Bu aşamada artık binanın kütesine değil, mekânların doğal aydınlatma düzeylerinin yeterli olup olmadığına odaklanılır.

- **Bilgisayar simülasyonu**

Bir mekanın bilgisayar simülasyonu yardımı ile genellikle yıl boyunca farklı dönemlerinin incelenmesi gerekir ve bu incelemede farklı gökyüzü koşulları ve günün/yılın farklı zamanları dikkate alınmalıdır [30]. Günümüzde doğal aydınlatma araştırmacılarının kullandığı çok çeşitli dijital araçlar bulunmaktadır [31; 32]. Hesaplamalar araştırmaya konu proje alanının yer küre üzerindeki konumuna (enlem ve boylam), gökyüzü tanımına (farklı CIE gökyüzü modelleri) ve yılın belirli zamanlarına (gün/saat) dayanmaktadır [33]. Simülasyonlarda genellikle çalışma düzlemindeki doğal aydınlatma düzeyleri ölçülmektedir. Ölçülen alana ilişkin aydınlık düzeyleri gruplanabilmektedir. Ölçüm metriği olarak ağırlıklı statik ölçüm metodu olan günışığı faktörü (DF) metodu tasarımcılar arasında yoğun olarak kullanılmakta, ancak dinamik/iklim temelli ölçüm metodları araştırmacılar arasında daha popülerdirler. Bunun yanında plan düzleminde farklı olarak iç mekan perspektiflerinde günışığı parlaklığı ölçümü de simüle edilebilmektedir (Şekil 6). Bu hesaplamalarda, aydınlık düzeyi ölçü birimi olan “lux” ten farklı olarak, parlaklığı düzeyi “cd/m<sup>2</sup>” ölçü birimi ile ölçülebilmektedir.

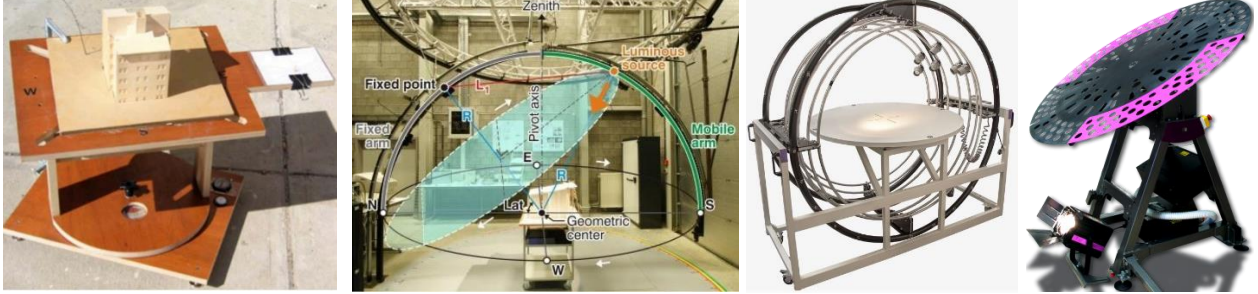


Şekil 6: Plan düzleminde aydınlık düzeyi (solda) [34], plan düzleminde günışığı otonomisi (DA) (ortada) [5], sabit bir kullanıcı noktasından alınan günışığı parlaklığı (sağda) [5].

- **Fiziksel ölçekli model ile heliodon analizi**

Fiziksel ölçekli model ile bir bina kütesinin güneş yörüngesi ve gölgeleme ilişkisi analizi heliodon adı verilen güneşin bir binaya göre olan hareketini göstermek için kullanılan mekanik bir cihaz ile yapılır. Genel olarak portatif ve mekanik heliodon olarak ayrılmaktadır. Portatif heliodonlar ağırlıklı olarak yüksek teknoloji gerektirmeden dış mekanda kullanılmaya başlanmıştır. Dışarıda bir heliodon kullanmak için, güneş yörüngesini takip etmek üzere bir güneş saati gereklidir. Bu tür güneş saatleri günümüzde internet tabanlı uygulamalardan, çalışılan coğrafi konuma göre doğrudan dijital olarak üretilebilmekte ve kağıt çıktı ile kullanılabilir. Portatif heliodonlara ilaveten mekanik heliodonlar daha karmaşık bir yapıya sahiptirler. Bu heliodonlar mekanik cihazlardır ve manuel veya otomatik olarak çalıştırılabilirler [35]. Bugüne kadar geliştirilen mekanik iç mekan heliodonları genel olarak iki kategoriye ayrılabilir; sabit güneş-hareketli yeryüzü modeli ve sabit yeryüzü-hareketli güneş modeli [36; 37]. Her iki mekanik heliodon da amaç, model üzerinde uygun güneş açılarını ve gölgeleri oluşturmaktır. Güneş modelini esas alan bu tip heliodonlar farklı güneş yörüngelerini temsil eden birden fazla rijit kemere/yaya sahiptirler [37]. Güneş modeline ilaveten

daha gelişmiş gökyüzü modelleri de mevcuttur. Kubbe şeklindeki "Ayna kutusu" ile gökyüzü modellemesi, bulutlu bir CIE (Uluslararası aydınlatma komisyonu) simülasyonu yapılmasına ve böylece modellenen binanın herhangi bir alanındaki gün ışığı faktörünün değerlendirilmesine olanak tanır (Şekil 7) [33].



Şekil 7: Güneş saati ile kullanılan portatif bir dış mekan heliodon' u (solda) [35], sabit yeryüzü-hareketli güneş modeli (ortada) [33; 38], sabit güneş-hareketli yeryüzü modeli (sağda) [38].

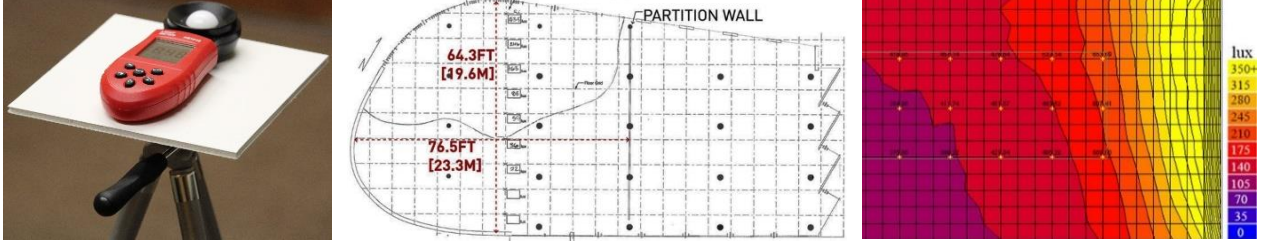
### 3.2. Kullanım Sürecinde Performans Ölçüm Metodları

Ön tasarım ve proje geliştirme süreçlerinde yukarıda anlatılan örneklere ilaveten, mevcutta kullanımda olan yapıların da performans ölçümlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu açıdan bakıldığında temelde iki ölçüm metodu karşımıza çıkmaktadır. Bunlardan birincisi, yerinde fiziki ölçüm, ikincisi ise yüksek dinamik aralıklı görüntüleme tekniği ile günışığı parıltı düzeyinin ölçümüdür.

#### • Yerinde fiziki ölçüm

Yerinde fiziki ölçüm, bir mekanın aydınlık düzeyinin bir ışıkölçer (illuminance meter / lüksmetre –ölçü birimi; lux) yardımı ile ölçülmesi ile gerçekleştirilir. Bunun için çalışma düzleminde sanal bir grid oluşturulur ve tanımlanan noktalarda belirtilen ölçümler gerçekleştirilir. Elde edilen bulgular, eş aydınlık düzeyi eğrileri olarak plan düzleminde çizilmesi ile değerlendirilir.

Bunun yanında eğer bir objeye ait parıltı düzeyinin ölçümü gerekli ise ayrı bir cihaz olan parıltı ölçer (luminance meter – ölçü birimi; cd/m<sup>2</sup>) kullanılmaktadır. Her iki cihazın beraber kullanılması ile alınacak ölçümlerden sonra bir mekandaki yüzeyin yüzey yansıtma (surface reflectance) katsayısı da elde edilebilir [39]. Dolayısıyla, mevcut binaların iç mekanlarında gün ışığı aydınlık düzeyleri, yüzey yansıtma katsayıları ile birlikte fiziki olarak ölçülebilmektedir [40]. Lüksmetre ile yatay düzlemde oluşturulan sanal grid üzerinden yapılan ölçümler yardımı ile eş aydınlık düzeyi eğrileri çizilebilmekte, bu sayede bir mekana ilişkin günışığı faktörü (DF) analizi yapılabilmektedir (Şekil 8).



**Şekil 8:** Çalışma düzleminde ışık ölçer ile noktasal ışık ölçümü (solda) (fotoğraf; Semih G. Yıldırım), yatay düzlemde sanal grid oluşturularak ışık ölçer (lüksmetre) ile ölçüm yapılması (ortada) [7], yerinde ölçülen değerlerin bilgisayar programına aktarılması ile oluşturulan plan düzleminde eş aydınlık düzeyi eğrileri analizi [41].

#### • Yüksek dinamik aralıklı görüntüleme tekniği

“Yüksek dinamik aralıklı” (HDR) görüntüler, aydınlatma tasarımı ve parlıltı analizi, görsel konfor çalışmaları, yol ve yaya aydınlatması araştırmaları gibi farklı alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [30]. Yüksek dinamik aralığa sahip görüntülerin, dijital sensörün yüksek dinamik aralık kaydındaki sınırlaması nedeniyle (karanlık alanlarda az pozlaması ve aydınlık alanlarda aşırı pozlaması) ayrıntı ve doku kaybı olmadan kaydedilmesi imkânsızdır. Bu görüntüler, aynı sahnenin her biri farklı deklanşör hızıyla çekilmiş birden fazla görüntüsünün birleştirilmesiyle oluşturulur ve böylece farklı pozlamalara sahip daha iyi bir görüntü yelpazesi sağlar [42; 43]. İnsan gözü, bir dijital kameranın yakalayabileceğinden veya bir bilgisayar ekranının görüntüleyebileceğinden daha geniş bir ışık aralığını görebilir [44]. Esasen, dijital tek lensli yansıtma kamerası (DSLR) ile elde edilen bir “yüksek dinamik aralıklı” (HDR) görüntü, aydınlatma verilerini doğru bir şekilde elde etmekte ve bu teknik ile bir görüntü insan algısına eş düzeyde yakalanabilmektedir [45]. Elde edilen “yüksek dinamik aralıklı” (HDR) görüntüler, bilgisayar yazılımı yardımı ile birleştirilerek, farklı görüntü analiz programları ile yanlış renk (false-color), eş aydınlık düzeyi eğrisi (isolux mapping) ve kamaşma analizi (glare analysis) yapılabilmektedir [44; 45]. Bu yöntem, bir mekânın kullanım sonrası çeşitli parlıltı düzeylerinin ölçümü için kullanılabilir.

## 4. SONUÇLAR

Üniversite bünyesinde doğal aydınlatma ile ilgili yürütülecek gerek araştırma ve gerekse eğitim faaliyetlerinde kullanılabilir bir altyapı oluşturulması amacıyla bu çalışma kapsamındaki konular incelenmiştir. Binalarda aydınlık düzeyi ve parlıltı düzeyi ölçüm metodlarının neler olduğu ortaya konulmuş, bu metodların nerelerde kullanılabileceği gösterilmeye çalışılmıştır. Tasarım ve kullanım aşamalarındaki performans ölçüm metodlarının her biri esasen bir uzmanlık alanı niteliğinde olup, yürütülecek araştırmalarda ayrı ayrı veya birleştirilerek ele alınabilir. Özellikle günümüzde bilgisayar simülasyonu diğer tekniklere nazaran, pratik olması bakımından yaygın olarak tercih edilmektedir. Fiziksel ölçekli model ile heliodon analizi ancak bir aydınlatma laboratuvarı ortamında özel ekipman ile gerçekleştirilebilmekte, bundan dolayı kullanımı araştırmacılar arasında da sınırlı kalmaktadır. Performans değerlendirme ölçütü olarak, günışığı faktörü (DF) analizi yaygın olarak kullanılmakta olsa da, dinamik/iklim temelli ölçüm metodları gerçeğe daha yakın sonuçlar vermektedir. Eğitim alanına uyarlanması düşünüldüğünde, lisans veya lisansüstü düzeyde yürütülecek doğal aydınlatma ile ilişkili derslerde, burada sunulan metodlardan biri veya birkaçı seçilebilir ve laboratuvar ortamında uygulama faaliyeti olarak öğrencilere yaptırılabilir.

## KAYNAKLAR

1. Missouri S&T, Living Laboratories, <https://cree.mst.edu/laboratories/> (erişim; 01.03.2024)
2. F. Yu, R. Wennersten, J. Leng, A state-of-art review on concepts, criteria, methods and factors for reaching ‘thermal-daylighting balance’. *Building and Environment*, (2020), no.186.
3. J.A. Jakubiec, G. Quek, T. Srisamranrungruang, Long-term visual quality evaluations correlate with climate-based daylighting metrics in tropical offices – A field study, *Lighting research technology*, 53, (2021), pp. 5–29
4. C.F. Reinhart, J. Wienold, The daylighting dashboard: A simulation-based design analysis for daylit spaces. *Building and environment*, 46, (2011), no.2, pp.386-396.
5. L. Buckley, Ten key daylight and electric light metrics. Integrated Environmental Solutions (IES), <https://www.iesve.com/discoveries/article/3813/ten-key-daylight-and-electric-metrics> (erişim; 01.03.2024)
6. IES, Approved method: spatial daylight autonomy (sDA), annual sunlight exposure (ASE). *Illuminating engineering society (IES)*. New York (2012).
7. C.F. Reinhart, D.A. Weissman, The daylit area: Correlating architectural student assessments with current and emerging daylight availability metrics. *Journal of Building and environment*, 50 (2012), pp.155-164.
8. C. M. Meek, K. V. D. Wymelenberg, Daylighting and integrated lighting design. *Pocket architecture: technical design series*, (2014), published by Routledge.
9. M. Boubekri, Daylighting design: planning strategies and best practice solutions, (2014), Published by Birkhauser Verlag GmbH.
10. C.F. Reinhart, Daylighting handbook I; fundamentals designing with the sun. Published in USA, (2014).
11. J. Mardaljevic, A. Nabil, The useful daylight illuminance paradigm: a replacement for daylight factors. *Energy and Buildings*, 38 (7), (2006), pp. 905-913.
12. M. Bodart, C. Cauwerts, Assessing daylight luminance values and daylight glare probability in scale models, *Building and environment*, 113, (2017), pp. 210-219.
13. J. Mardaljevic, M. Andersen, N. Roy, J. Christoffersen, Daylighting metrics: is there a relation between useful daylight illuminance and daylight glare probability?, *First Building Simulation and Optimization Conference, Loughborough, UK*, (2012).
14. Daylight glare probability (DGP), <https://help.iesve.com/ve2021/> (erişim; 01.03.2024)
15. A. Tzempelikos, Daylight glare probability measurements and correlation with indoor illuminances in a full-scale office with dynamic shading controls, *International high performance buildings conference*, (2014)
16. A. Sepúlveda, F.D. Luca, M. Thalfeldt, J. Kurnitski, Analyzing the fulfillment of daylight and overheating requirements in residential and office buildings in Estonia. *Building and Environment*, (2020), no.180.
17. Solar radiation as external thermal force acting on the building, Center of Planning & Architectural Studies. [http://www.cpas-egypt.com/pdf/Ahmed\\_Safwat/M.Sc/004%20%20%20%20CHAPTER2.pdf](http://www.cpas-egypt.com/pdf/Ahmed_Safwat/M.Sc/004%20%20%20%20CHAPTER2.pdf) (erişim; 01.03.2024)
18. G. Prinsloo, R. Dobson, Solar tracking, *Published by Stellenbosch University*, South Africa, (2015).

19. J. K. W. Oh, J. S. Haberl, L. Degelman, Enhanced software for displaying orthographic, stereographic, gnomonic and cylindrical projections of the sun path diagram and shading mask protractor. *Proceeding of the twelfth symposium on improving building systems in hot and humid climates*, San Antonio, TX, (2000).
20. B. Norkin, How to read sun path diagrams. <https://hyperfinearchitecture.com/how-to-read-sun-path-diagrams/> (erişim; 01.03.2024)
21. Z. An, S. Mason, Integrating advanced daylight analysis into building energy analysis. Fourth National Conference of IBPSA, New York, (2010).
22. T. Guo, G. Sang, Y. Zhang, X. Cui, Thermal performance and energy analysis of phase change material-integrated building with the auxiliary heating system in different climate regions. *International Journal of Energy Research*, vol. (2023).
23. K. Liu, X. Xu, W. Huang, R. Zhang, L. Kong, X. Wang, A multi-objective optimization framework for designing urban block forms considering daylight, energy consumption, and photovoltaic energy potential. *Building and Environment*, (2023), no.242.
24. G. Wimmers, Passive design toolkit for homes. *Light House Sustainable Building Centre*, Vancouver, (2009).
25. C. F. Reinhart, Daylighting handbook I; fundamentals designing with the sun. *Published in USA*, (2014).
26. F. Moore, Concepts and practice of architectural daylighting. *Published by Van Nostrand Reinhold*, New York, (1991).
27. L. Wang, P. Janssen, K. W. Chen, Z. Tong, G. Ji, Subtractive building massing for performance-based architectural design exploration: a case study of daylighting optimization. *Sustainability*, vol. 11, (2019).
28. Sun shading catalogue - Adequate shading: sizing overhangs and fins. *United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat)*, (2018).
29. A. Robinson, S. Selkowitz, The integrated approach; tips for daylighting with windows. *Environmental Energy Technologies Division of the Lawrence Berkeley National Laboratory*, (2013).
30. V. Zaikina, Light modelling in architectural spaces; luminance-based metrics of contour, shape and detail distinctness of day-lit 3D objects. *PhD Dissertation*, (2016), Norwegian University of Science and Technology.
31. Dubois M., C. Horvat, M., (Eds.) State-of-the-art of digital tools used by architects for solar design. *Report T.41.B.1.IEA SHC Task 41 Solar Energy and Architecture*, (2010).
32. Horvat, M., Dubois, M., C., Snow, M., & Wall, M. International survey about digital tools used by architects for solar design. *Report T.41.B.2. IEA SHC Programme Task 41: Solar Energy and Architecture*, (2011).
33. Horvat, M., Wall, M., Solar design of buildings for architects: Review of solar design tools. *Solar Heating & Cooling Programme, International Energy Agency*. (2012).
34. J. Mohelnikova, J. Hirs, Effect of externally and internally reflective components on interior daylighting. *Journal of Building Engineering*, vol. 7, (2016), pp. 31-37.
35. R. E. Osser, Development of two heliodon systems at MIT and recommendations for their use. Master of Science Thesis in Massachusetts Institute of Technology, (2007).
36. K. P. Cheung, S. L. Chung, A table top heliodon with a moving light source for use in an architect's office. *International Journal on Architectural Science*, Vol. 3, Number 2, (2002), p.51-60.



37. D. Dolan, G. Bucher, L. Carter, J. Hamilton, R. Hubilla, Cal Poly heliodon. *California Polytechnic State University, San Luis Obispo, California*. (2015).
38. Betanit, Robotic and manual heliodons for education, design and research, <https://www.betanit.com/heliodon/> (erişim; 01.03.2024)
39. C.F. Reinhart, Daylight course; lecture notes 5; massing studies. *MIT open course ware*, <https://ocw.mit.edu/courses/4-430-daylighting-spring-2012/>, (2012).
40. I. Bournas, M.C. Dubois, T. Laike, Perceived daylight conditions in multi-family apartment blocks – Instrument validation and correlation with room geometry. *Building and Environment*, (2020), no.169.
41. S. Ma'bdeh, B.Al-Khatatbeh, Daylighting retrofit methods as a tool for enhancing daylight provision in existing educational spaces-a case study. *Buildings* vol. 9, issue 159, (2019).
42. A. Ntregkaa, A. Georgopouloa, M. S. Quinterob, Photogrammetric exploitation of HDR images for cultural heritage. *XXIV International CIPA Symposium, Strasbourg, France*, (2013).
43. C. Pierson, C. Cauwerts, M. Bodart, J. Wienold, Tutorial: luminance maps for daylighting studies from high dynamic range photography. *The Journal of the Illuminating Engineering Society*, vol. 17, no. 2, (2021), pp.140-169.
44. L. Beltran, B. M. Mogo, Assessment of luminance distribution using hdr photography. *ISES solar world congress, Orlando, FL*, (2005).
45. P. Au, M. Donn, HDR luminance measurement: comparing real and simulated data. *The architectural science association (ASA), Conference, New Zealand*, (2012).

# MİMARİ OLARAK GÖRÜNÜR YAPISAL ÇELİK ELEMENLERDE PASİF YANGIN KORUMA YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Esra Karaca<sup>1</sup>

Halet Almıla Büyüктаşkın<sup>2</sup>

<sup>1</sup> İKÜ Mimarlık Fakültesi, Bakırköy, İstanbul, 34158

<sup>2</sup> İTÜ Mimarlık Fakültesi, Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

## ÖZET

*Tarihsel süreç içerisinde gerçekleşen teknolojik gelişmeler sayesinde yapısal çeliğin mimaride kullanım alanı giderek artış göstermektedir. Yapısal çelik, malzeme özellikleri bakımından birçok avantaja sahip olmasına rağmen bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Yüksek sıcaklık koşulları altında malzemede ısıl şekil değişimleri meydana gelerek, yük taşıma kapasitesinde hızlı bir düşüş gerçekleşmektedir. Bu olumsuz durum, mimari olarak görünür yapısal çelik elemanların yangın etkisi altında taşıyıcılık ve bütünlüğünü korumasını zorlaştırmaktadır. Bu çalışma kapsamında, tüm taşıyıcı bileşenlerin mimari olarak görünür yapısal çelik elemanlardan oluştuğu bir bina örneği ele alınmış ve bu elemanları yangına karşı uygulanabilen pasif koruma yöntemleri incelenmiştir. Çalışmada; uygulama maliyeti, uygulama koşulları, uygulama süresi, görsel etki, çelik taşıyıcı elemanlarda kullanım olanakları, yangına karşı dayanım ve süreklilik, çevresel koşullara karşı dayanım ve yapıya gelen ek yüklerin etkisi performans kriterleri olarak belirlenmiş ve bu kriterler üzerinden mevcut pasif koruma yöntemleri karşılaştırılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar doğrultusunda, mimari olarak görünür çelik elemanların yangına karşı korunumu için uygun pasif koruma yöntemleri sunulacak tasarımcılara bir kılavuz oluşturulması hedeflenmiştir.*

*Anahtar sözcükler: Yapısal Çelik, Yangın, Pasif Yangın Koruma Yöntemleri*

## ABSTRACT

*With the help of the technological developments throughout the history, the use of structural steel in architecture is increasing. Although structural steel has many advantages in terms of material properties, it also has some disadvantages. Under high temperature conditions, thermal deformations can harm the material and a rapid decrease in load bearing capacity occurs. This negative situation causes difficulties to maintain the stability and the integrity of architecturally exposed structural steel elements against fire. Within the scope of this study, a building example where all the structural elements are architecturally exposed steel is considered. In the study; Application cost, application conditions, application time, visual impact, possibilities of use in structural steel elements, fire resistance and continuity, resistance to environmental conditions and the effect of additional loads on the structure were determined as performance criteria. Appropriate passive fire protection methods that can be applied to protect these elements against fire are examined. By this way, existing passive protection methods were compared based on certain performance criterias. In line with the results obtained in the study, it is aimed to create a guide for designers to determine the appropriate passive protection methods to be applied for the protection of architecturally exposed steel structural elements against fire.*

*Keywords: Structural Steel, Fire, Passive Fire Protection Methods*

<sup>1</sup> e-posta adresi: e.karaca@iku.edu.tr

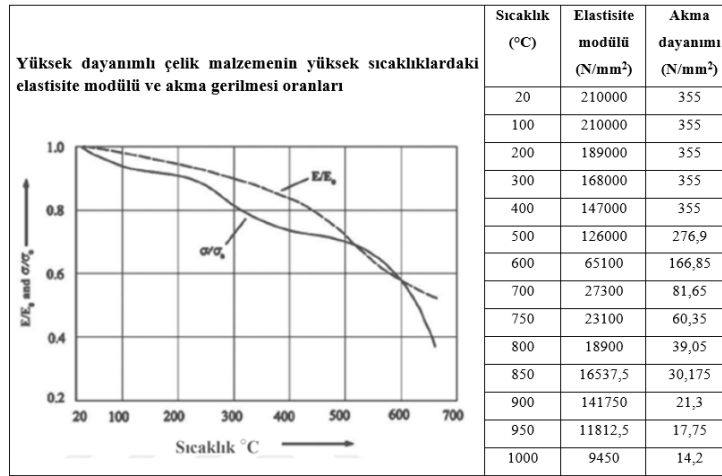
<sup>2</sup> e-posta adresi: almila@itu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Mimari açıdan görünür yapısal çelik elemanlar, tanım olarak mimari yapılarda taşıyıcı sistemi oluşturan çelik elemanların istenilerek açıkta bırakılmasıdır. Bu elemanlar mimari yapılarda mekan kurgusunun bir parçasını oluşturmaktadır. Bu yüzden, bu elemanlar için tasarım ve yapım sürecinde standart yapısal çeliğe göre daha fazla titizlik ve özen gerektiren uygulamaların gerçekleştirilmesi gerekmektedir [1].

Çelik, malzeme olarak birçok yönden avantaja sahip olmasına rağmen bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Yanıcı özellikli olmamasına rağmen yüksek sıcaklıklar altında ısıl şekil değişimleri oluşmakta ve yapının taşıyıcı sisteminin yük taşıma kapasitesinde hızlı oranda bir düşüş gözlenmektedir [2]. Bu olumsuz özellik, çeliğin mimari olarak görünür olarak kullanıldığı yapılarda çok daha büyük bir sorunu meydana getirmektedir. Bu yüzden, yapı içerisinde bulunan kullanıcıların yapıdan tahliye edilmesi ve yangının kontrol altına alınabilmesi için süre kazanmak amacıyla görünür çelik taşıyıcı elemanların yangın güvenliğinin sağlanması büyük önem teşkil etmektedir [3].

Çizelge 1: Çelik elemanlarda Elastisite modülü ve akma dayanımının sıcaklıkla değişimi [2].



Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik'te çelik taşıyıcı elemanların ve sistemlerin yangına karşı korunmasındaki durumlar belirtilmiştir. Bu yönetmeliğe göre;

- Binanın taşıyıcı sisteminin yangına dayanımının belirlenmesinde, taşıyıcı sistemin yük taşıma kapasitesi, sistemin yalıtımı ve bütünlüğü değerlendirilmektedir.
- Yangın oluşması durumunda binada bulunan tüm canlıların ortamdaki güvenli bir şekilde tahliye edilmesi ve yangına uygun zamanda müdahale edilebilmesi için, taşıyıcı sistem ve bileşenlerinin bütünsel ile bileşensel düzeyde ele alınarak boyutlandırılmasının yapılması gerekmektedir. Bu boyutlandırma yapılırken, yangın ile ilgili yönetmelikler ve geçerli standartlar esas alınmaktadır.
- Toplam yapı alanı 5000 m<sup>2</sup> den az ve tek katlı yapılar haricindeki tüm çelik taşıyıcı sistemli binaların yangına karşı korunmasının sağlanmasına yönelik uygulamaların yapılması gerekmektedir [4].

Yapıların yangına karşı korunumunda pasif ve aktif olmak üzere iki tür koruma yöntemi bulunmaktadır. Çalışma kapsamında ise, bu önlemler arasından yalnızca çelik taşıyıcı elemanların yangına karşı korunumunu sağlayan pasif koruma yöntemleri irdelenmiştir. Bu yöntemler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Çelik taşıyıcı elemanların içerisinde betonla doldurulması,
- Püskürtme sıva sistemleri ile yalıtım,
- İntümesan (genleşen) boyalar ile yalıtım,
- Çelik taşıyıcı elemanların içinden su dolaştırılarak soğutulması

## 2. YÖNTEM

Yangına karşı pasif koruma yöntemlerinin karşılaştırılabilmesi için çalışmada öncelikli olarak mimari olarak görünür çelik taşıyıcı elemanlarda uygulanabilir yöntemler ele alınıp incelenmiştir. Bu incelemeler sonrasında, mevcut yöntemlerin karşılaştırılması için uygulamalara yönelik tasarım kriterleri belirlenmiş ve karşılaştırmalar belirlenen bu kriterler üzerinden değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmelerin yapılması için taşıyıcı bileşenlerinin tümü görünür yapısal çelik elemanlardan oluşan bir bina örneği ele alınmıştır. Belirlenen performans kriterleri üzerinden, bu bileşenlere sırasıyla pasif koruma yöntemleri uygulanarak analiz, hesaplamalar ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

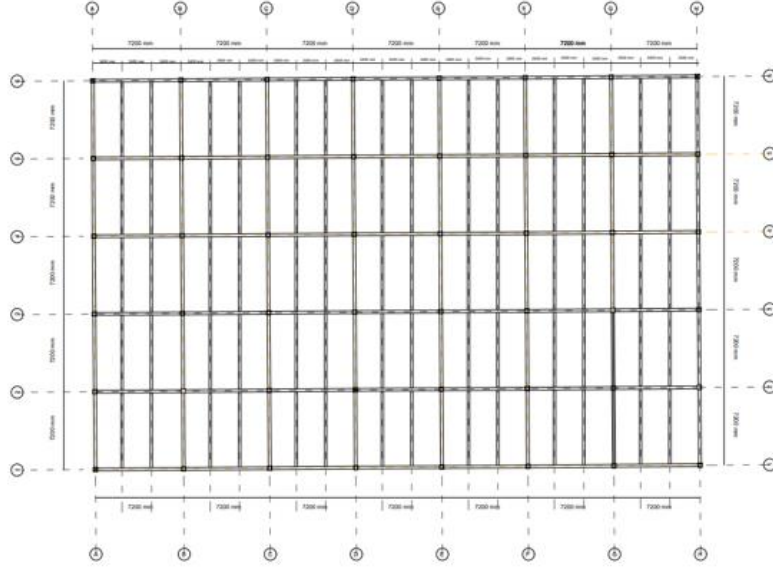
### 2.1. Performans kriterlerinin belirlenmesi

Çalışma kapsamında, mimari olarak görünür yapısal çelik elemanlar ele alınmış ve bu elemanların yangına karşı korunumunda uygulanabilecek pasif koruma yöntemleri detaylı olarak irdelenmiştir. Bu yöntemlerin karşılaştırılabilmesi için aşağıdaki performans kriterleri belirlenmiştir:

- Uygulama maliyeti
- Uygulama koşulları
- Uygulama süresi
- Görsel etki
- Çelik taşıyıcı elemanlarda kullanım olanakları
- Yangına karşı dayanım ve süreklilik
- Çevresel koşullara karşı dayanım
- Yapıya gelen ek yüklerin etkisi

### 2.2. Karşılaştırma Örneğinin Tanıtımı

Yangına karşı korumada kullanılan pasif koruma yöntemlerinin bir yapı örneği üzerinden maliyet analizi ile karşılaştırılması için, toplam zemin alanı 5443 m<sup>2</sup> ve taşıyıcı sistemi çelik olan üç katlı bir ofis binası ele alınmıştır. Yapının zemin kat kolon-kiriş yerleşim planı **Şekil 1**'de yer almaktadır.



Şekil 1: Bina zemin kat kolon-kiriş yerleşim planı

Kolon ve kirişlerde kullanılan enkesit boyutları aşağıda sıralanmıştır:

- Çelik kolon enkesiti: Kare kutu enkesitli profil (SHS) 350/8 ([350 x 350 x 8 mm)
- Çelik kiriş (birincil kiriş) enkesiti: Kare kutu enkesitli profil (SHS) 260/6,3 ([260 x 260 x 6,3 mm)
- Çelik kiriş (ikincil kiriş) enkesiti: Kare kutu enkesitli profil (SHS) 220/6,3 ([220 x 220 x 6,3 mm)

### 3. ANALİZ

Pasif koruma yöntemlerinde uygulama maliyetlerinin belirlenmesi ve karşılaştırılması için yapıda bulunan kolon, kiriş ve döşemeler için pasif koruma yöntemlerinin uygulama maliyetleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Maliyet hesaplamaları yapılırken malzeme birim fiyat bilgilerine firmalardan alınan 2023 yılı esaslı fiyat teklifleri; işçilik birim fiyatları ve birim sürede yapılan işçilik miktarlarına ise, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın 2023 yılında yayınlamış olduğu İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları Listesi'nde yer alan veriler aracılığıyla erişilmiştir.

#### 3.1. Çelik taşıyıcı elemanların içerisinde betonla doldurulması

Bu yöntemde, çelik elemanların yangına karşı dayanımının artırılması için boru/kutu enkesitli çelik kolonların ve kirişlerin içi betonla doldurulmaktadır. Çalışmada ele alınan yapıda yer alan çelik taşıyıcı elemanlar için beton miktarı, beton sınıfı ve donatı yüzdesinin belirlenmesinde "*Design Guide for Structural Hollow Section Columns Exposed to Fire*" isimli kaynaktaki verilerden yararlanılmıştır [5]. Yapılan hesaplamaların sonucunda, ele alınan yapı örneğindeki çelik taşıyıcı elemanların içi betonla doldurularak yangına karşı 60 dakika dayanım göstermesinin beklendiği durumda gerekli olan toplam beton miktarı, toplam donatı ve toplam işçilik süreleri belirlenmiştir (Çizelge 2).

**Çizelge 2:** Betonla doldurulan çelik elemanlar için gerekli pasif koruma maliyeti (2023 yılı).

Malzeme ve Uygulamalar	Kolon	Kiriş	Döşeme	Birim	Birim fiyat (TL-2023 yılı)
Beton çelik çubuğu, nervürlü (Ø 14-32 mm; S420)	4,174	-	-	ton	17000
Beton çelik çubuğu, nervürlü (Ø 8-32 mm; S420)	-	8,823	-	ton	17000
Beton (C 40 Sınıfı)	47	-	-	m <sup>3</sup>	1650
Beton (C 30 Sınıfı)	-	45	-	m <sup>3</sup>	1550
Beton (C 20 Sınıfı)	-	61,1	-	m <sup>3</sup>	1510
Yüzey kumlama ve primer (astar boya) uygulaması	36,9		-	ton	360
Demir donatı işçilikleri	480	1015	-	saat	70
Beton işçilikleri	440,4	995	-	saat	70

### 3.2. Püskürtme sıva sistemleri ile yalıtım

Bu yöntem, yapısal çelik elemanların dış yüzeylerinin özel aletlerle basınçlı olarak püskürtme sıva kullanılarak kaplanması işlemidir [6]. BYKHY-2022'ye göre bodrum kat derinliği 10 m'den, bina yüksekliği ise 21,5 m'den az olan ve yağmurlama sistemi bulunmayan ticari amaçlı bir bina için 60 dakikalık yangın dayanım süresi yeterli olarak görülmektedir. Bu yüzden, 60 dakikalık yangın dayanım süresine sahip çimento bazlı bir püskürtme sıva malzemesinin kullanılması uygun görülmüştür. Ele alınan yapı örneği üzerinden yapılan hesaplamalar sonucunda çelik elemanların yalıtılması için gereken toplam püskürtme sıva miktarı, işçilik süreleri ve gerekli yüzey hazırlık işlemleri belirlenmiştir (**Çizelge 3**).

**Çizelge 3:** Püskürtme sıva uygulanan çelik elemanlar için gerekli pasif koruma maliyeti (2023 yılı).

Malzeme ve Uygulamalar	Kolon	Kiriş	Döşeme	Birim	Birim fiyat (TL-2023 yılı)
Vermikülit bazlı püskürtme sıva	7188	15300	57886	kg	25
Yüzey kumlama ve primer (astar boya) uygulaması	36,9	98,8	-	ton	360
Püskürtme sıva uygulaması	211,7	764	2002	saat	70

### 3.3. İntümesan boyalar ile yalıtım

İntümesan (genleşen) boyalar, yangın esnasında kömürleşen bir tabaka oluşturarak yangın esnasında çelik taşıyıcı elemanlara etkiyen yüksek sıcaklık etkisini azaltmaktadır. Bu sayede, taşıyıcı sistemin dayanımını yitirmesini geciktirerek bina içerisindeki kullanıcıların ortamdan tahliye edilmesi ve yangına müdahale edilerek söndürülmesi için zaman kazandırmaktadır [7]. BYKHY-2022'ye göre, bodrum kat derinliği 10 m'den az olan bir ticari bina için 60 dakikalık yangın dayanım süresi yeterli olarak görülmektedir. Bu yüzden, 60 dakikalık yangın dayanım süresine sahip su bazlı bir boyanın bu yapıda kullanılması uygun görülmüştür. Yapı örneği üzerinden yapılan hesaplamalar sonucunda çelik elemanların yalıtılması için gereken toplam intümesan boya miktarı, toplam işçilik süreleri ve gerekli yüzey hazırlık işlemleri belirlenmiştir (**Çizelge 4**).

**Çizelge 4:** İntümesan boya uygulanan çelik yapı elemanları için gerekli pasif koruma maliyeti (2023 yılı).

Malzeme ve Uygulamalar	Kolon	Kiriş	Döşeme	Birim	Birim fiyat (TL-2023 yılı)
Su bazlı intümesan boya	750,4	1584,3	6355	lt	300
Son kat koruyucu boya	83,2	258,5	715	kg	200
Yüzey kumlama ve primer (astar boya) uygulaması	36,9	98,8	-	ton	360
İntümesan boya uygulaması	611	1861,4	5148	saat	70
Son kat koruyucu boya uygulaması	611	1861,4	5148	saat	70

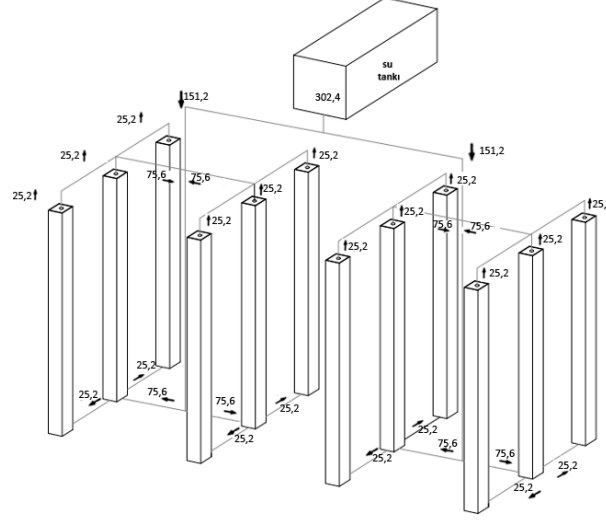
### 3.4. Çelik taşıyıcı elemanların içinden su dolaştırılarak soğutulması

Yangına karşı korumada ek bir yalıtım katmanı uygulanmasını gerektirmeyen ve yangın korumasını çelik taşıyıcı elemanların içinden su dolaşımı yaparak sağlayan pasif koruma yöntemidir. Bu yangına karşı koruma yönteminin kullanılabilmesi için yapısal çelik elemanların boru ya da kutu enkesitli kapalı profillerden oluşması ve bu profillerin içerisine çelik su borularının yerleştirilmesi gerekmektedir. Yapısal çelik elemanların içinden su dolaştırılması ile yangında ortaya çıkan ısı enerjisi su tarafından absorbe edilerek çelik eleman üzerindeki yangın etkisi azaltılmaktadır [8].

Çelik taşıyıcı bileşenlerin içinden su dolaşımı ile yapılacak olan yalıtım uygulamasının maliyet analizini yapabilmek için sistemde yer alan bileşenlerin boyutlarını ve miktarlarını belirlemek gerekmektedir. Aşağıda yer alan hesaplamalar ile çelik taşıyıcı elemanlara 60 dakikalık yangın boyunca etkiyen yangın yükü bulunarak, su dolaşım sisteminde kullanılacak su deposu hacmi ve kolonların içerisinde yerleştirilecek çelik su borularının ölçüleri belirlenmiştir.

**Yangın esnasında kolonların içinde soğutma suyu olarak bulunması gereken su miktarı:** Dış kolonların dış cephe kabuğuna yeterince yakın olduğu ve cephede yer alan pencere açıklığının yüksekliği 2 m olduğu varsayılmıştır. Ayrıca, bu hesaplamada yangının iç ortamda meydana geldiği duruma göre hesaplamalar yapılmıştır. Bunun için yangına maruz kalan yüzey alanları hesaplanmıştır [5]. Yapılan hesaplamalar sonucunda yangına maruz kalan yüzey alanının 12,6 m<sup>2</sup> olduğu; 60 dakikalık yangın dayanımı için m<sup>2</sup> başına gerekli su miktarının ise 82 kg/m<sup>2</sup> olduğu belirlenmiştir. Buradan yola çıkarak, iç ortamda yer alan bir kolon için gerekli su miktarının 1033,2 kg olup, hesap yapılan alandaki kolonların stabil durumda iken (yangın olmadığı durumda) içerisinde bulunması gerekli olan su miktarı ise 12,4 m<sup>3</sup> tür.

**Su ve su buharının max kütle akış oranı (debisi):** ISO yangın eğrisine göre, yangın esnasında kolon yüzeyindeki maksimum buharlaşma oranlarının tahmini verileri yer almaktadır. Buradaki veriler kullanılarak kolonlardaki toplam kütle akış oranı (debisi) bulunmuştur. Yapılan hesaplamalar sonucunda, su dolaşım sistemindeki su ve buhar kütle akış debilerinin örnek üzerinde şematik gösterimi Şekil 2'deki gibidir.



Şekil 2: Su dolaşım sistemindeki su ve buhar kütle akış debilerinin örnek üzerinde şematik gösterimi.

**Gerekli su deposu hacminin hesaplanması:** Su deposunun hacmi, yangın esnasında soğutma suyu olarak kullanılması gereken su miktarı ve kolonların içerisinde bulunan toplam su miktarının toplanması ile bulunmuştur. Ayrıca, soğutma suyu olarak kullanılacak su miktarının buharlaşma etkisi de göz önüne alındığında %10 oranında eklemeler yapılarak hesaplamalar yapılmıştır [5]. Yapılan hesaplamalara göre, hesap yapılan alandaki kolonların toplam hacminin 1,10 m<sup>3</sup>, Kullanılabilecek su deposunun hacminin ise yaklaşık olarak 25 m<sup>3</sup> olduğu belirlenmiştir. Su dolaşım sistemi kullanılan çelik elemanlar için gerekli pasif koruma maliyeti ise Çizelge 5'teki gibidir.

Çizelge 5: Su dolaşım sistemi kullanılan çelik yapı elemanları için gerekli pasif koruma maliyeti (2023 yılı).

Malzeme ve Uygulamalar	Kolon	Kiriş	Döşeme	Birim	Birim fiyat (TL-2023 yılı)
Su deposu (25 ton) ve su pompası	4	-	-	adet	40000
Galvanize çelik su borusu (iç çap: 130 mm; uzunluk: 9m) ve bağlantı elemanları	48	-	-	adet	3250
Su (su deposunda bulunan)	100	-	-	m <sup>3</sup>	30
Su (kolonların içerisinde bulunan)	36,5	-	-	m <sup>3</sup>	30
Potasyum karbonat (donmayı önleyici katkı)	12800	-	-	lt	10
Potasyum nitrat (korozyon oluşumunu önleyici katkı)	300	-	-	lt	140
Yüzey kumlama ve primer (astar boya) uygulaması	36,9	-	-	ton	360
İşçilik giderleri (Mekanik tesisat ve montaj işlemleri; korozyon ve donmayı önleyici uygulamalar)	1166,4	-	-	saat	70

#### 4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Değerlendirme yapılırken uygulama maliyeti, uygulama koşulları, uygulama süresi, görsel etki, çelik taşıyıcı elemanlarda kullanım olanakları, yangına karşı dayanım ve süreklilik, çevresel koşullara karşı dayanım ve yapıya gelen ek yüklerin etkisi göz önünde bulundurulmuştur.



**Uygulama Maliyeti:** Maliyet analizlerinden yola çıkılarak yapılan karşılaştırmalar sonucunda; kolonlarda en az maliyetli yöntemin püskürtme sıva ile yalıtım, maliyeti en yüksek yöntemin ise çelik taşıyıcı elemanların içinden su dolaştırılarak soğutulması uygulaması olduğu; kirişler ve döşemelerde ise en az maliyetli yöntemin püskürtme sıva ile yalıtım, maliyeti en yüksek yöntemin intümesan (genleşen) boyalar ile yalıtım uygulaması olduğu belirlenmiştir (**Çizelge 6**).

**Çizelge 6:** Pasif koruma maliyetlerinin taşıyıcı bileşen bazında gösterimi (2023 yılı).

Pasif koruma uygulaması türü	Uygulamanın toplam maliyeti (TL – 2023 yılı)		
	Kolon	Kiriş	Döşeme
Çelik elemanların içerisinde beton doldurulması	220.620 TL	488.280 TL	koruma uygulanamamaktadır
Püskürtme sıva sistemleri ile yalıtım	207.800 TL	471.550 TL	1.398.540 TL
İntümesan (genleşen) boyalar ile yalıtım	340.580 TL	588.850 TL	2.770.220 TL
Çelik taşıyıcı elemanların içinden su dolaştırılarak soğutulması	582.625 TL	koruma uygulanamamaktadır	koruma uygulanamamaktadır

**Uygulama koşulları:** Pasif koruma yöntemleri, sahada veya saha dışında uygulanabilme imkanları bakımından bazı benzerlikler veya farklılıklar göstermektedir. Bu durumlar **Çizelge 7**'de özetlenmiştir.

**Çizelge 7:** Uygulama koşullarının karşılaştırılması.

Pasif koruma uygulaması türü	Sahada uygulanabilirlik	Saha dışında uygulanabilirlik
Çelik taşıyıcı elemanların içerisinde betonla doldurulması	+	+ <sup>(1)</sup>
Püskürtme sıva sistemleri ile yalıtım	+	-
İntümesan boyalar ile yalıtım	+	+ <sup>(2)</sup>
Çelik taşıyıcı elemanların içinden su dolaştırılarak soğutulması	+	-
(1) Kısmen saha dışı uygulamalar da yapılabilmektedir. Çelik donatıların yerleşimi saha dışında, beton dökümü ise sahada yapılabilir.		
(2) Genellikle mekanik darbeye dayanımı düşük olduğu için solvent bazlı boya uygulaması sahada yapılmaktadır. Epoksi bazlı boyalar ise mekanik darbeye dayanıklı olduğu için uygulama çoğunlukla saha dışında tamamlanmaktadır.		

**Uygulama süresi:** Yapılan karşılaştırmalar sonucunda, en kısa uygulama süresine sahip olan yöntemin püskürtme sıva ile yalıtım uygulaması, en uzun uygulama süresinde tamamlanan pasif koruma yönteminin ise çelik elemanların içerisinde betonla doldurulma uygulaması olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak bu karşılaştırma, uygulamaların tüm aşamalarının sahada yapıldığı ve sahadaki ortam şartlarının tüm uygulamalar için elverişli olduğu duruma göre geçerlidir.

**Görsel etki:** Mimari olarak çelik taşıyıcı elemanların kullanıcılar tarafından algılanan görünümü, yapıya kazandıracağı görsel etki açısından önem arz etmektedir. Dolayısıyla, pasif koruma yönteminin kullanıldığı yapının veya bölümün kullanım amacına uygun doğrultuda seçilmesi gerekmektedir. Püskürtme sıva sistemleri ile yalıtım dışında, diğer pasif koruma yöntemlerinin görsel etkiyi bozmadığı ve estetik görünümü koruduğu söylenebilir.

**Çelik taşıyıcı elemanlarda kullanım olanakları:** Yangına karşı korumada uygulanan pasif koruma yöntemlerinin mimari olarak görünür çelik taşıyıcı elemanlarda kullanım olanakları **Çizelge 8**'de gösterilmiştir.

**Çizelge 8:** Pasif koruma yöntemlerinin çelik elemanların enkesit türüne göre kullanımı.

Pasif Koruma Yöntemi	Düsey taşıyıcı elemanlar		Yatay taşıyıcı elemanlar		
	Kolonlar		Kirişler		Kompozit döşeme
	Açık profil (I, H, L, C profiller)	Kapalı profil (daireesel/kutu enkesitli profiller)	Açık profil (I, H, L, C profiller)	Kapalı profil (daireesel/kutu enkesitli profiller)	
Çelik taşıyıcı elemanların içerisinde betonla doldurulması	-	+	-	+	-
Püskürtme sıva sistemleri ile yalıtım	+	+	+	+	+
İntümesan (genleşen) boyalar ile yalıtım	+	+	+	+	+
Çelik taşıyıcı elemanların içinden su dolaştırılarak soğutulması	-	+	-	-	-

**Yangına karşı dayanım ve süreklilik:** Su dolaşımli sistem haricindeki diğer pasif koruma yöntemlerinin çalışma prensibi genel olarak çelik taşıyıcı sistemlere ısı geçişinin geciktirilmesini amaçlamaktadır. Su dolaşımli sistemde ise, sistemin uygun şekilde tasarlanması ve uygulanması durumunda, yangın esnasında çelik elemanlarda sıcaklık artışı belirli bir değerin üzerine çıkmayarak kontrol altında tutulduğu için yapının taşıyıcı sistemi hasar görmemektedir. Dolayısıyla, bu yöntemler arasında yangına karşı dayanım ve sürekliliğın korunumu konusunda su dolaşımli sistem öne çıkmaktadır.

**Çevresel koşullara karşı dayanım:** Çelik taşıyıcı elemanların içerisinde betonla doldurularak pasif koruma önlemi sağlanması durumunda, beton kapalı (kutu/boru) bir profilin içerisinde bulunması nedeniyle iç ve dış çevre koşullarından büyük oranda etkilenmemektedir. Püskürtme sıva yöntemi ise genel olarak yüksek nem düzeyi ve ekstrem sıcaklık farklılıklarının bulunduğu çevre koşullarına karşı yeterli dayanıma sahip değildir. Dolayısıyla, bu yöntemin uygun nem ve sıcaklık koşullarının sağlandığı iç mekânlarda kullanımı tercih edilmektedir. İntümesan boyalar ile korumada, solvent bazlı boyalar iç mekânlarda; epoksi bazlı boyalar ise hava koşullarına daha dayanıklı olmaları nedeniyle dış ortamdaki çelik elemanlarda kullanılması gerekmektedir. Çelik taşıyıcı elemanların içinden su dolaştırılarak soğutulması yönteminde ise, taşıyıcı elemanlar korozyon ve donma riskiyle karşı karşıya kalmaktadır. Bu yüzden, dolaşımda kullanılan suyun içerisinde potasyum karbonat veya buna benzer özellikteki bir anti-jel malzeme eklenerek donmaya karşı; potasyum nitrat gibi anti-korozif katkıları suyun içerisinde eklenerek de korozyona karşı önlem alınması gerekmektedir.

**Yapıya gelen ek yüklerin etkisi:** Maliyet analizi için gerekli hesaplamalar yapılırken pasif koruma önlemleri için gereken toplam malzeme miktarları da belirlenmiştir. Buradan yola çıkarak, yapıya gelen ek yükün olmaması nedeniyle en avantajlı yöntemin intümesan boya uygulaması; en dezavantajlı sistemin ise çelik elemanların içerisinde beton doldurulması ile sağlanan pasif koruma yöntemi olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmada, çelik yapı elemanlarında yangına karşı uygulanacak pasif koruma yönteminin belirlenmesi aşamasında, tasarımcılara kullanılabilecek yöntemler hakkında mimari bir kılavuz oluşturulması amaçlanmıştır. Yapılan karşılaştırmalara sonucunda, her bir yöntemin farklı yönleriyle ön plana çıktığı sonucuna varılmıştır (**Çizelge 9**). Bu yüzden, yangına karşı korumada

en uygun pasif koruma yönteminin seçilebilmesi için yapının ve bulunduğu ortamın tüm özelliklerinin bir bütün olarak ele alınması gerekmektedir [9].

**Çizelge 9:** Pasif koruma yöntemleri için belirlenen performans kriterlerinin karşılaştırılması [9].

Pasif koruma yöntemleri	Pasif koruma yöntemleri için belirlenen performans kriterleri											
	Uygulama maliyeti <sup>(a)</sup>	Uygulama süresi	Görsel etki	Yangına karşı dayanım ve süreklilik	Çevresel koşullara karşı dayanım	Yapıya gelen ek yüklerin etkisi	Uygulama koşulları		Yapısal çelik elemanlarda kullanım olanakları			
							sahada uygulama	saha dışı uygulama	kapalı profil (dairesel/ kutu enkesitli)	açık profil (I, L, H, C ve U enkesitli)	levhalar / yüzeyler	
Çelik taşıyıcı elemanların içerisinde betonla doldurulması	3	2	4	3	4	1	+	+	(b)	+	-	-
Püskürtme sıva sistemleri ile yalıtım	4	4	1	3	1	3	+	-		+	+	+
İntümesan (genleşen) boya ile yalıtım	2	3	3	3	2	4	+	+	(c)	+	+	+
Çelik taşıyıcı elemanların içinden su dolaştırılarak soğutulması	1	1	4	4	3	2	+	-		+	(d)	-

Performans kriterlerinin değerlendirilmesi (1 - 4 arası)	Performans kriterlerinin değerlendirilmesi (+/-)
1: kötü	+ : uygulanabilir
2: orta	- : uygulanamaz
3: iyi	
4: çok iyi	

Not:
(a) Uygulama maliyeti karşılaştırması, yalnızca yapıdaki çelik kolonlar göz önüne alınarak yapılmıştır.
(b) Bu yöntemde kısmen saha dışı uygulamalar da yapılabilmektedir (Çelik donatıların yerleşimi saha dışında tamamlandıktan sonra betonun dökümü sahada yapılabilmektedir).
(c) Genellikle darbe dayanımı düşük olduğu için solvent (su bazlı) intümesan boya uygulaması sahada yapılmaktadır. Epoksi bazlı intümesan boyalar ise darbeye karşı daha dayanıklı olduğu için uygulamaların çoğunlukla saha dışında yapılması tercih edilmektedir.
(d) Bu yöntem kirlilere uygulandığında yöntem pasif koruma kapsamı dışında kalmaktadır. Ek olarak literatürde bu koruma yöntemini boru/kutu enkesitli kirlilere de uygulanabildiğine dair yeterli düzeyde veri bulunmamaktadır.

## KAYNAKLAR

- Boake, T. (2015). Architecturally Exposed Steel Structures. Birkhäuser Verlag GmbH. Basel. Switzerland.
- EN 1993-1-1. (2005). Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings. Brussels.
- Harmanty, T.Z. (1993). Fire Safety Design and Concrete. Longman Scientific & Technical Copyright. England.
- BYKHY (2022). Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. Ankara.
- Twilt, L. ve diğerleri. (1994). Design Guide for Structural Hollow Section Columns Exposed to Fire. Verlag TÜV Rheinland GmbH. Germany.
- Blanc, A., Mcevoy, M. & Plank, R. (1993). Architectural and Construction in Steel. The Steel Construction Institute. Cambridge.
- İbikcan, E. (2011). Yangın Geciktirici İntümesan Boya Gelişimi. Tüyak Yangın ve Güvenlik Sempozyumu ve Sergisi. İstanbul.
- Arda, T. S. & Yardımcı, N. (1995). Çelik Yapı Elemanlarının Yangın Mukavemeti. Akbasım. İstanbul.
- Karaca, Esra. (2023). Mimari Olarak Görünür Yapısal Çelik Elemanlarda Pasif Yangın Koruma Yöntemlerinin Karşılaştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.

## **ÇOK KATLI YAPILARDA TEK YA DA ÇİFT CEPHEDEN GÜN IŞIĞI ALMANIN GÖRSEL VE TERMAL KONFORA ETKİSİ**

Nurefşan Sönmez<sup>1</sup>

Arzu Cılasun Kunduracı<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mimarlık Doktora Programı Öğrencisi  
Yaşar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

<sup>2</sup> Yaşar Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi  
Bornova, İzmir, 35100

### **ÖZET**

Günümüzde çok katlı yapılarda sıkça tercih edilen bir özellik olan cam kaplama, estetik bir görünüm sağlamak için kullanılmaktadır. Ancak, bu durum cam özellikleri, cephe yönü ve sayısına bağlı olarak kamaşma ve aşırı ısınma-soğuma nedeniyle toplam enerji tüketiminde artışa yol açabilmektedir. Bu araştırma, çok katlı yapılardaki hacimlerin bir veya birden çok yönden ışık almasının yaratabileceği olası görsel konfor problemlerine işaret etmekte ve bu konuyu örnek bir saha çalışması üzerinden incelemektedir. Bu doğrultuda çalışma, İzmir’de çok katlı bir yapıda yer alan, biri tek cepheden ve diğeri iki cepheden gün ışığı alan iki ofisi ele almıştır. Seçilen alanların mevcut gün ışığı analizi Grasshopper programı üzerinde Ladybug ve Honeybee eklentileri kullanılarak simülasyon yoluyla yapılmıştır. Çalışmada, birden çok cepheden gün ışığı almanın iç mekâna alınan ışığın eşit dağılımına ve görsel konfora etkisi incelenmiş, gölgeleme sistemine ihtiyaç duyulması durumu, termal konfor ve enerji tüketimine olası etkileri değerlendirilmiştir. Yapılan analiz, gelecekte inşa edilecek çok katlı yapılarda iç mekân konforunu artırmak isteyen mimarlara yönelik öneri niteliğindedir.

*Anahtar Kelimeler: Gün ışığı aydınlatması, eşit ışık dağılımı, çok katlı yapılar, cam cephe kaplama*

### **ABSTRACT**

Glass facade, which is frequently preferred in multi-story buildings, are utilized to offer an aesthetic appearance. However, depending on the characteristics of the glass, the orientation, and the number of facades, this could result in an increase in overall energy consumption due to glare and excessive heating/cooling. Using a case study, this study examines potential problems with visual comfort that could arise when volumes in multi-story buildings are exposed to daylight from one or more directions. The research examined two offices located in a multi-story building in Izmir, one of which receives daylight from the facade unilaterally and the other bilaterally. The Ladybug and Honeybee plugins in Grasshopper software were used to simulate the current daylight analysis of the specified areas. The study investigated the effect of receiving daylight from single and multiple facades on the equal distribution of light received in interiors and visual comfort, evaluated the need for a shading system, possible effects on thermal comfort and energy consumption. The results of the research provide recommendations for architects aiming to improve indoor comfort of multi-story buildings to be built in the future.

*Keywords: Daylighting, uniform light distribution, multi-story buildings, glass facade*

<sup>1</sup> e-posta adresi: nrfsnsonmez@gmail.com

<sup>2</sup> e-posta adresi: arzu.cilasun@yasar.edu.tr

## 1. GİRİŞ

### 1.1. Transparan Cepheler

Günümüzde transparan cepheler yapılarda estetik [1] ve hafif görünüm [2] sağlaması ve dış mekân görünürlüğünü arttırması [3], [4] gibi nedenlerle tercih edilmektedir. Transparan cepheler, gün ışığından faydalanma imkanını arttırmaya olanak tanır [5]. Ayrıca, ışık geçirgenliğinin istenen düzeyde sağlanabilmesi için kullanılan cam malzeme farklı teknik özelliklerde; yüksek ya da düşük geçirgenlik düzeyine veya yansıtıcılık düzeyine sahip olmak gibi tercih edilebilir [6]. Bununla beraber, cam malzemenin ısı geçirgenlik düzeyinin belirlenebilmesi ve bu sayede iklim tiplerine göre ısıtma-soğutma yükünden tasarruf sağlanabilmesi [7] gibi ısı konforu ve enerji tüketimini etkileyen faktörler sebebiyle de çok katlı yapılarda tercih edilmektedir. Sağladığı faydaların yanı sıra, iç çevre koşullarının, dışarıdaki hava koşullarından doğrudan etkilenmesine sebep olabilen transparan cepheler [4] görsel konfor, termal konfor ve enerji tüketimi üzerinde risk oluşturabilmektedir. Bu nedenle, literatürde transparan cepheli yapılarda iç mekân konforunu ve enerji verimliliğini arttırmaya yönelik çeşitli çalışmalara yer verilmiş [6], [8], [9], [10], [11], [12], kullanılabilecek cam malzemelerin niteliğinin önemi vurgulanmıştır [1], [6].

### 1.2. Giydirme Cam Cepheler

Transparan cepheler literatürde, birbirlerinden strüktürel anlamda farklılaşan cam cephe (*window wall*) ve giydirme cam cephe (*curtain wall*) olarak iki ayrı başlık altında incelenir. Bunlardan ilki olan cam cephelerde, cam sistemi yapının taşıyıcı sistemi üzerine monte edilir (katlar arası döşeme ya da kolonlar gibi) [13]. Giydirme cam cephe sistemlerinde ise, yapının taşıyıcı sisteminden bağımsız olarak, kendine ait bir strüktürü bulunur ve ana yapı strüktürüne yük aktarmaz [14]. Çok katlı yapılarda uygulanan giydirme cephe sistemleri strüktürel malzemenin ve cephedeki görünür malzemenin türüne göre, örneğin tuğla, granit, cam, alüminyum gibi, çeşitlilik göstermektedir [15]. Dış mekân ile bağlantı kurma ve iklim koşullarına karşı duyarlılık [4], [16] gibi olanaklar sunan giydirme cam cepheler, 1950'lerden beri çok katlı iş merkezleri ve ofis yapılarında sıklıkla kullanılmaktadır [4].

## 2. ÇOK KATLI YAPILARDA GİYDİRME CAM CEPHELERİN KULLANIMI VE GÜN IŞIĞI İLE İLİŞKİSİ

### 2.1. Giydirme Cam Cephelerin Görsel Konfor Üzerindeki Etkisi

Giydirmeye cam cepheli yapıların gün ışığını iç mekâna almada oldukça etkili olduğu bilinmektedir [5]. Gün ışığından alınan verim ise, ters kare kuralı ile ilişkilendirilerek [17], [18], camdan uzaklaşıldıkça aradaki uzaklığın karesiyle ters orantılı şekilde aydınlık düzeylerinin değiştiği göz önüne alındığında giderek azalmaktadır. Bu durum, sadece tek cepheden ışık alacak şekilde tasarlanan ofis odalarında gün ışığının homojen olmayan bir şekilde dağılmasına sebep olmaktadır [19]. Bununla beraber, yüksek gün ışığı geçirgenlik değerine (*VT-Visible Transmittance*) sahip camların [20], yüksek güneşlenme saatlerine sahip (örneğin tropikal iklim bölgeleri veya ekvatora yakın) bölgelerde [21] güneş ışığının kontrolsüz bir şekilde iç mekâna alınmasına ve dolayısıyla istenmeyen kamaşma ve yansıma problemlerine sebep olarak, görsel konforu olumsuz etkilemektedir. Ayrıca, bu durum gölgeleme elemanı kullanımına olan ihtiyacı arttırmaktadır [22].

Yenilikçi cam malzemelerin giydirmeye cam cephelerde uygulanması görsel konforsuzluğa sebep olan bu tür problemlerin minimuma indirilmesi açısından umut vadeci olup literatürde birçok çalışmanın konusu olmuştur. Örneğin, yapılan bir simülasyon çalışmasında [8], yaklaşık %60 mikroalg konsantrasyonuna sahip, elektrokromik, renkli ve düşük emisyon özelliklerinin bir araya getirildiği camın, tek cama kıyasla rahatsız edici boyutta olan yıllık aşırı gün ışığına maruz kalma düzeyinde (*ASE/Annual Sunlight Exposure*) %28 düşüş sağladığı gözlenmiştir. Bir diğer çalışma [9], giydirmeye cam cepheli bir ofis yapısında kamaşma kontrolünü sağlamak için gün ışığı kamaşma endeksini (*DGI/Daylight Glare Index*) %22 aşan durumlarda camdaki elektrokromik katmanın aktifleştiği senaryoyu simüle ederek yıl boyunca kamaşmanın kontrol altında tutulabildiğini ve aynı zamanda gün ışığının %75'e kadar içeri alınabildiğini göstermektedir.

## 2.2. Giydirmeye Cam Cephelerin Termal Konfor Üzerindeki Etkisi

Cam yüzey alanının artması, dış çevre koşullarından etkilenme derecesini artırır ve dolayısıyla termal konforu doğrudan etkiler [4]. Çok katlı giydirmeye cam cepheli yapılarda doğal havalandırmanın kullanımı kısıtlı olduğundan [16], [23], bu tür yapılarda iç mekân sıcaklığı ile nemin dengede tutulması ve homojen olarak dağılması daha zor olabilmektedir. Ayrıca, kullanıcıların konfor seviyesi, kullanıcının cama uzaklığı ve iç mekândaki konumlarına bağlı olarak değişkenlik gösterir [1]. Belirtilen sebepler nedeniyle giydirmeye cam cepheli yapılarda düşük U-değerine sahip (U-değeri, bir malzemenin belirli bir kalınlıktaki birim alanından belirli bir zamanda ısı geçişini ifade eder ve düşük U-değerine sahip bir malzeme, ısıyı daha az geçirgen hale getirir, yani daha iyi bir yalıtım sağlar) camların tercih edilmesi, iç mekânda aşırı ısınmayı önleme ve sıcaklığı kabul edilebilir seviyelerde tutmada oldukça önemlidir [6].

Termal konfor kaybını minimuma indirerek kullanıcılara konforlu bir alan sunmak amacıyla geliştirilen cam malzemelerin iç mekân konforuna etkisini inceleyen birçok çalışma literatürde yer almaktadır. Örneğin, yapılan bir çalışma [10], Nottingham Üniversitesi tarafından geliştirilen düşük yansımaya ve yüksek geçirgenlik için nano kaplamayla entegre edilmiş çok katmanlı bir yapıya sahip amorf silikon fotovoltaik modülden oluşan Isı Yalıtımlı Cam'ı (*HISG/Heat Insulating Solar Glass*) incelemektedir. Çalışma, geliştirilen camın çift cama kıyasla  $1.10 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  U-değeri ile iki kat daha iyi bir izolasyon sağladığını ve iç mekân ile dış mekân arasında  $12,70 \text{ }^\circ\text{C}$ 'lik bir fark oluşturabildiğini ortaya koymuştur. Malezya'da çok katlı bir yapı için yürütülen çalışmada [6], yansıtıcı çift cam kullanımının tek cam kullanımına göre iç mekânda kabul edilebilir sıcaklığın olduğu saatleri %107 arttırdığı görülmüştür. Çalışmada, sıcak ve nemli iklim bölgelerinde iç mekânda ısı konforu artırmak için yansıtıcı çift cam kullanımı önerilmektedir.

## 2.3. Giydirmeye Cam Cephelerin Toplam Enerji Tüketimi Üzerindeki Etkisi

Giydirmeye cam cephelerin kullanımının günışığından verim alınmasını sağlayarak yapay aydınlatma kullanımını azalttığı [16], kontrolsüz bir şekilde iç mekâna alınmasındaysa sera etkisiyle ısının birikmesine sebep olduğu ve sıcak iklimlerde soğutma yükünü arttırdığı görülmüştür [16], [24].

Cam sisteminde tercih edilen malzemeye bağlı olarak, yüksek ısı geçirme katsayısı (U-değeri) ve Güneş Isısı Kazanım Katsayısına (*Solar Heat Gain Coefficient – SHGC*) sahip cam yüzeylerden içeri giren yüksek ısı, kullanıcı konforunu olumsuz etkileyerek ılıman/sıcak iklimlerde soğutma yükünü arttırmaktadır [7]. Ters durumda, soğuk iklimlerde ise dışarıdan içeriye soğuk havanın

geçiş sebebiyle ısıtma yükünde artışa sebep olmaktadır [25]. Bu sebeple, tropikal ve kutup iklimlerinde giydirme cam cephelerin kullanımı tavsiye edilmemektedir [4]. Bu tür iklimlerde giydirme cam cephe sistemlerinin tercih edilmesi durumunda, enerji kullanımını azaltmaya yönelik olarak camın U-değerini azaltmayı ve gölgeleme elemanı kullanmayı gerektirmektedir [26]. Örneğin ılıman iklim kuşağındaki İtalya’da bulunan bir yapı için yapılan simülasyon çalışmasında, termokromik cam uygulamasıyla cam üzerinden gelen güneş ışınlarının geçirgenliğinin kontrol edilmesi ve böylece enerji tüketiminde (ısıtma-soğutma-aydınlatma) toplamda %22,8 azalma sağlanmıştır [28].

Giydirme cam cepheli yapılarda enerji tüketimini azaltmaya yönelik literatürde çeşitli çalışmalara yer verilmiştir. Yapılan bir çalışmada [12], sıvı ve hava dolaşımını kullanan bir cam giydirme sistemiyle yapıya gelen aşırı güneş enerjisinin elektriğe dönüştürülerek iç mekân ısı yüklerinin ve enerji tüketiminin azaltılabileceği gösterilmiştir. Bir diğer çalışmada [11], sıcak iklimlerdeki cam kaplı yapılarda camın yaklaşık %40’ında entegre ince film fotovoltaiğin (PV/*Photovoltaic*) kullanılmasının içeriye alınan gün ışığının kontrolünü sağlamada ve elektrik üretmede oldukça etkili olduğu gösterilmektedir. Ayrıca çalışmada kullanılan ince film PV ile soğutma yükünde %31’lik bir düşüş sağlandığı simülasyon yoluyla gözlenmiştir.

## 2.4. Birden Çok Cephe Kullanımına İlişkin Çalışmalar

Gün ışığını iç mekâna almada cephe sayısının ve yönünün önemi ile bu durumun aynı zamanda yol açabileceği görsel konforsuzluklar bazı çalışmalara konu olmuştur [28], [29], [30]. Bir eğitim yapısı için yapılan çalışmada [30], pencere açıklığının olduğu cephe sayısı arttıkça gün ışığı alımının ve gün ışığının homojen dağılımının artmasıyla beraber kamaşma sorununun ve gölgeleme elemanına duyulan ihtiyacın da arttığı gözlenmiştir. Buna ek olarak diğer çalışmalarda ise, gün ışığından etkin faydalanmak ve kamaşmanın önüne geçebilmek için pencere açıklığının olduğu cephelerde aynı cephe tasarımını uygulamak yerine cephe yönelimleri dikkate alınarak tasarımın planlanması gerektiği [28], ve dış gölgeleme elemanının yetersiz olduğu zaman dilimlerinde kamaşmayı önlemek için iç gölgeleme elemanının da kullanılması gerektiği [29] sonucuna varılmıştır.

## 3. YÖNTEM

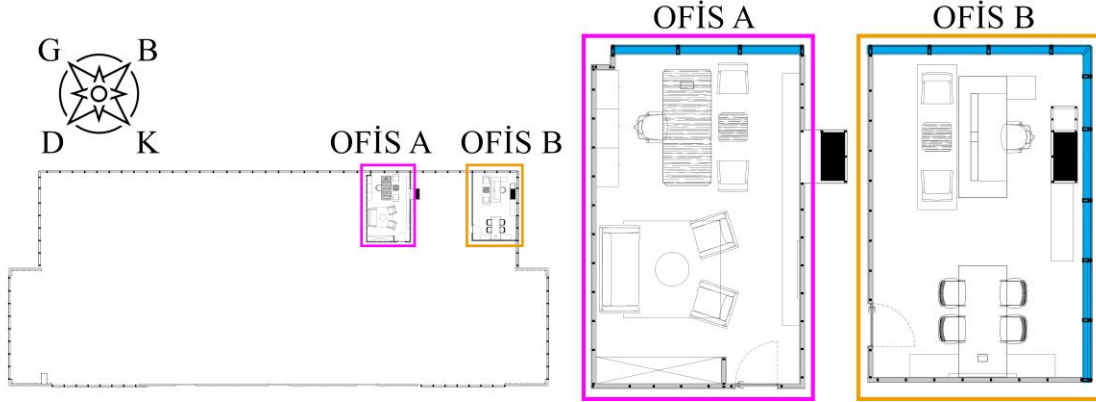
Bu çalışma, bir veya birden çok cepheden gün ışığı almanın iç mekân termal, görsel konforu ile enerji tüketimine olan etkisini incelemeyi hedeflemiştir. Ele alınan, İzmir’deki çok katlı giydirme cam cephe sisteme sahip bir yapı üzerinde, Rhinoceros eklentisi olan Grasshopper programı ve Ladybug ile Honeybee eklentileri kullanılarak simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Bu simülasyonlar, yaygın kullanılan gün ışığı miktarı metriklerinin (UDI, DF, ASE) değerlendirilmesini içermektedir.

### 3.1. Simüle Edilen Ofislerin Lokasyonu ve Özellikleri

Bu çalışmada İzmir Bayraklı’da yer alan Folkart Towers A Blok 43. Katta bulunan iki ofis yapısı incelenmiştir (Şekil 1). İncelenen ofislerin kat yerleşimi Şekil 2’de verilmiştir. Ofislerin kot yüksekliği, yönelimi, hacim bilgileri ve cam cephe sayıları Çizelge 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışmanın yapıldığı çok katlı yapı (A Blok 43. Kat) [31]



Şekil 2. İncelenen ofis planları ve kat üzerinde yerleşimleri

Çizelge 1. İncelenen Ofislerin Bilgileri

İncelenen Ofis Sayısı ve İsimleri	2 (Ofis A ve Ofis B)
Ofislerin Kot Yüksekliği	+16.360 cm
Ofislerin Yönelimi	Ofis A (Güneybatı) , Ofis B (Güneybatı ve Kuzeybatı)
Ofislerin İç Ölçüleri	Ofis A (424 cm x 678 cm) , Ofis B (575 cm x 762 cm)
Ofislerin İç Tavan Yüksekliği	312 cm
Ofislerin Metrekareleri	Ofis A (26,6 m <sup>2</sup> ), Ofis B (28,6 m <sup>2</sup> )
Ofislerin Cam Cephe Sayıları	Ofis A (1 Cephe), Ofis B (2 Cephe)

Çizelge 2. İncelenen ofislerin yüzey malzeme bilgileri

Zemin	Duvar	Tavan	Kapı	Cam Profili	Çam
					
Ahşap zemin	Koyu gri mat boya	Beyaz alçıpan	Ahşap kapı	Mat gri metal	Çift cam
IYD: %35,42	IYD: %63,61	IYD: %91,10	IYD:%23,49	IYD: %40	IGD: %69

IYD: Işık Yansıtma Değeri, IGD: Işık Geçirgenlik Değeri

Ofislerdeki tavana monte ve manuel kontrol edilen stor perdeler, simülasyonlar sırasında açık olarak modellenmiştir. Ofislerin iç mekân malzeme bilgileri ve görselleri Çizelge 2’de verilmiştir.



Simülasyonlarda doğru sonuçlar elde etmek için, duvar ve tavan [32], ahşap zemin ve ahşap kapı [33], cam profili [34] ve çift cam [35] için yansıtıcılık/ışık geçirgenlik değerleri piyasada bulunan firmaların muadil ürünleri arasından seçilmiştir.

### 3.2. Kullanılan Simülasyon Programı ve Giriş Verileri

Çalışmada simülasyon programında girilmiş veriler **Çizelge 3**'te verilmiştir. Gün ışığının değerlendirilmesinde UDI (*Useful Daylight Illuminance / Faydalı Gün Işığı*), DF (*Daylight Factor / Gün Işığı Faktörü*), ASE (*Annual Sunlight Exposure / Yıllık Gün Işığına Maruz Kalma Düzeyi*) metrikleri ve DSH (*Direct Sun Hours / Doğrudan Güneşe Maruz Kalma Saatleri*) analiz edilmiştir.

**Çizelge 3.** Simülasyon için tanımlanan girdiler

<b>Kullanılan Program</b>	Ladybug + Honeybee
<b>Metrikler</b>	UDI, DF, ASE, DSH, TCP, HSP, CSP
<b>Girilen İklim Verisi</b>	Izmir, Guzelyalı
<b>Gökyüzü Tipi</b>	CIE Açık Gökyüzü
<b>Mekân Kullanım Programı</b>	Hafta içi günleri, 08:00 – 17:00
<b>Ölçüm Düzlemi</b>	Yerden 80 cm yükseklikte, kenarlardan/kolondan 50 cm içeride

UDI, yapılarda gün ışığı kullanılabilirlik durumunu analiz etmede kullanılan dinamik bir gün ışığı metriğidir. Faydalı gün ışığı olarak tanımlanan değer aralığı 300 lüks ve 3000 lüks arasındadır ve bu değer aralığının bir alanda geçirilen zamanın en az %50'sini karşılaması beklenmektedir [19]. Tamamlayıcı olarak tanımlanan değer aralığı ise 100 lüks ile 300 lüks arasındadır ve bu aralık gün ışığının yapay aydınlatmayla birlikte kullanılmasını gerektirmektedir. 100 lüks'ten düşük aydınlık düzeyi yetersiz olarak tanımlanırken, 3000 lüks'ü aşan aydınlık düzeyi aşırı olarak tanımlanmakta ve görsel konforsuzluğa sebep olmaktadır [36]. DF, bulutlu gökyüzü koşullarında dış mekândaki aydınlık düzeyinin iç mekândaki aydınlık düzeyine oranını veren statik bir gün ışığı metriğidir ve bu oranın en az %2 olması beklenmektedir [37]. ASE, yapılarda aydınlatma sınırını aşarak kullanıcıları rahatsız edecek boyuta ulaşmış doğrudan gün ışığına maruz kalma düzeyini analiz etmede ve kamaşma ihtimalini değerlendirmede kullanılan bir metriktir [36]. 1000 lüks'ten fazla aydınlık düzeyine 250 saatten fazla maruz kalan alanların yüzdesini veren ASE metriğinin %10'u aşmaması hedeflenir [38]. DSH, yıllık doğrudan gün ışığına maruz kalınan saatleri vermektedir ve bir hacmin yıl içinde günde en az 1,5 saat doğrudan güneş ışığı almasını öneren çalışmalar bulunmaktadır [39].

## 4. SONUÇLAR

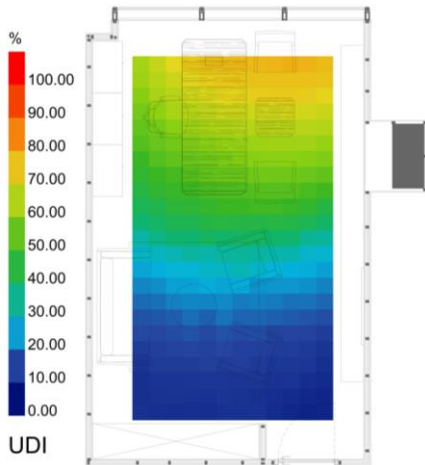
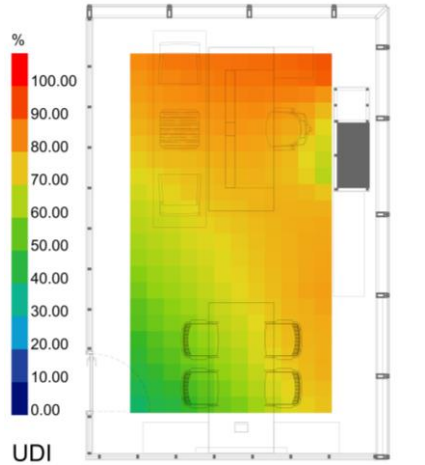
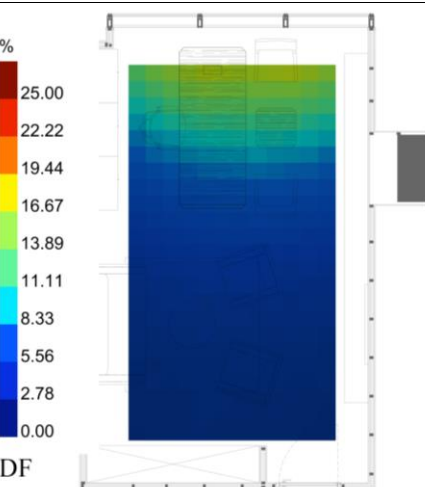
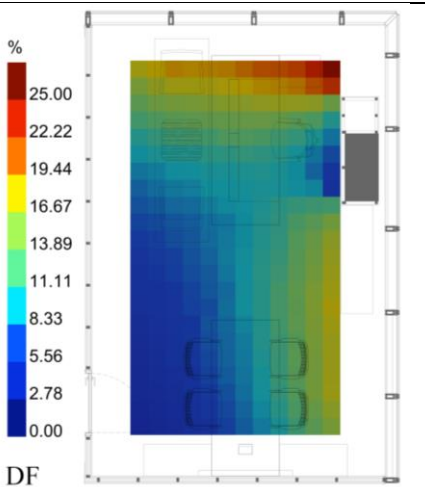
Ladybug ve Honeybee kullanılarak belirlenen simülasyon sonuçlarına göre tek cepheden gün ışığı alan Ofis A ve çift cepheden gün ışığı alan Ofis B'nin UDI, DF, ASE ve DSH sonuçları **Çizelge 4**'te verilmiştir.

- Sonuçlara göre, Ofis A'da faydalı gün ışığı değeri %65,52'dir. Ofis A için alt eşik 300 lüks'ün altında kalan UDI değeri %2,46'dır. 3000 lüksü aşan UDI değeri ise %34,01'dir. Ofis B'de faydalı gün ışığı değer aralığı %30,95 bulunmuştur. Ofis B için alt eşik 300 lüks'ün altında kalan UDI değeri %1,16 bulunmuştur. 3000 lüksü aşan UDI değeri ise %67,89'dur. Faydalı

gün ışığı değer aralığı tek cepheli ofiste çift cepheli ofise göre %111,69 daha fazla iken, 3000 lüks'ü aşan UDI değeri çift cepheli ofiste tek cepheli ofise göre %99,61 daha fazladır.

- Ortalama DF değeri Ofis A için %4,58 iken, Ofis B için %9,72'dir. İki değer de belirlenen minimum değerden ( $DF \geq 2$ ) yüksektir.
- ASE değeri için elde edilen sonuçlar her iki ofis için de belirlenen üst eşğin ( $ASE \leq 10$ ) üzerindedir. Çift cepheli ofiste tek cepheli ofise göre ASE değeri %34,50 daha fazladır.
- Çift cepheli ofiste tek cepheli ofise göre DSH değerinde %26,42 artış görülmektedir.

**Çizelge 4. Simülasyon Sonuçları**

	Ofis A	Ofis B
<b>UDI</b>	 <p>UDI</p> <p>UDI&lt;300 lüks: %2,46 300 lüks&gt;UDI&gt;3000 lüks: %65,52 UDI&gt;3000 lüks: %34,01</p>	 <p>UDI</p> <p>UDI&lt;300 lüks:%1,16 300 lüks&gt;UDI&gt;3000 lüks: %30,95 UDI&gt;3000 lüks: %67,89</p>
<b>DF</b>	 <p>DF</p> <p>DF_min: %0,84 DF_maks: %15,92 DF_ortalama: %4,58</p>	 <p>DF</p> <p>DF_min: %3,69 DF_maks: %24,37 DF_ortalama: %9,72</p>
<b>ASE</b>	%64,49	%86,74
<b>DSH</b>	671,06 saat	848,39 saat

Bir alandaki gün ışığı homojenliği, minimum DF değerinin ortalama DF değerine bölünmesiyle bulunabilmektedir. Alandaki gün ışığının homojen dağıldığının varsayılabilmesi için bu değer BREEAM standardına göre en az 0,4 olması beklenmektedir [40]. Aşağıda Ofis A ve Ofis B için yapılan gün ışığı homojenliği hesaplamaları verilmiştir.

Gün ışığı homojenliği = minimum DF / ortalama DF

Gün ışığı homojenliği (Ofis A) = %0,84 / %4,58 = 0,18

Gün ışığı homojenliği (Ofis B) = %3,69 / %9,72 = 0,38

- Yapılan hesaplamalara göre, her iki ofis için de belirlenen standarda ulaşamamıştır. Tek cepheden gün ışığı alan Ofis A için, iki cepheden gün ışığı alan Ofis B'ye kıyasla bu değer %52,63 daha az olduğu görülmektedir.

## 5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, çok katlı giydirme cam cepheli yapılarda tek ve çift cepheden gün ışığı alan iki ofis için gün ışığı simülasyonları alınmış ve iç mekâna giren ışığın kullanıcı konforuna olası etkileri incelenmiştir. Elde edilen bulgular, faydalı gün ışığı değer aralığının tek cepheden gün ışığı alan ofiste daha yüksek olduğunu, çift cepheden gün ışığı alan ofiste ise aşırı gün ışığına kalma sebebiyle kamaşma ve yansıma problemlerinin yaşanma ihtimalinin daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu sebeple ofis kullanıcılarının gün içerisinde uzun saatler boyunca perde kullanıyor olması beklenen bir durumdur. Diğer yandan, tek cepheli ofiste ofisin derinliği sebebiyle gün ışığının homojen dağılımı çift cepheli ofise göre daha yetersiz bulunmuştur. Bu sonuç, literatür bulgularını [30] destekler niteliktedir.

İki ofisin de uzun saatler boyu aşırı gün ışığına maruz kalması görsel konforsuzlukla beraber termal konforsuzluğu da beraberinde getirerek gölgeleme elemanı ve klima kullanımını arttırarak fazladan enerji tüketimine yol açmaktadır. İç mekân ve dış çevre ilişkisini kuvvetlendirmek için kullanılan cam cepheler perde kullanımıyla kısıtlanmakta ve görsel ile termal konforsuzluk sebebiyle toplam enerji yükünü arttırmaktadır. Bu tür problemlerin önüne geçilebilmesi için çok katlı yapılarda tasarımın erken aşamaları büyük önem kazanmaktadır. Gelecek tasarımlarda mimarlara yol göstermesi amacıyla ele alınan alan çalışmasına sahip/benzer iklimlerdeki yapılar için aşağıdaki öneriler dikkate alınabilir:

- Tasarımın yapılacağı iklimin özellikleri düşünülerek yönlenim yapılması, fazla ışık ve ısı girişi olacak cephelerin dikkatli kullanımı
- Sera etkisinin azaltılması için cephelerde balkon tasarımına yer verilmesi
- Isı yalıtımını, doğal havalandırmayı ve kontrollü gün ışığı alımını sağlamada etkili çift cidarlı cephe tasarımının uygulanması
- Yenilikçi cam malzemelerin kullanımı (örneğin; mikro alglerin, ince film PVlerin kullanılması)
- UV ışınlarını engellemede etkili renkli camların kullanımı
- Işık yansımaları ve olası kamaşma problemlerini önlemede yansıtıcı çift cam kullanımı
- Isı ve ışık geçişini kontrol edebilen dinamik camların kullanımı
- Işığın ulaşamadığı derinlikteki ofislerde ışık raflarının kullanımı

Yapılan çalışma, çok katlı giydirme cam cepheli yapılarda birden çok yön ve cepheden gün ışığı almanın tek yönden gün ışığı alma ile olan ilişkisini inceleyerek kontrolsüz gün ışığı alımının sebep

olabileceği konforsuzluklara işaret etmektedir. Bununla beraber bu çalışma, literatürdeki bilgilerden yola çıkarak, erken tasarım aşamasında alınan kararların yapı için önemini ve görsel ve termal konforu nasıl etkilediğini göstermektedir. Bu çalışmanın bir sonraki aşaması için ise, birden çok yön ve cepheden gün ışığı alan yapılarda görsel konforun, termal konforun ve enerji tüketiminin iyileştirilmesinin hedeflendiği çok amaçlı bir optimizasyon çalışması planlanabilir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada teknik çizimleri sağlayan Folkart A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

1. S. K. Kim, J. H. Ryu, H. C. Seo, ve W. H. Hong, "Understanding Occupants' Thermal Sensitivity According to Solar Radiation in an Office Building with Glass Curtain Wall Structure", *Buildings*, c. 12, sy 1, Oca. 2022, doi: 10.3390/buildings12010058.
2. Ö. Sağlıyan Sönmez ve S. Çetin, "Farklı Dönemlerde Mimaride Kullanılan Cam Binalar ve Yapısal Özellikleri", *İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi*, c. 10, sy 21, ss. 45-60, Haz. 2020, doi: 10.16950/iujad.580114.
3. Cephem Yapı Mühendislik, "Cam Cephe & Işıklık Sistemleri".
4. E. Altunkeyik, "Politecnico di Milano School of Architecture Urban Planning Construction Engineering", 2019.
5. J. Wang, M. Wei, ve X. Ruan, "Comparison of daylight simulation methods for reflected sunlight from curtain walls", *Build Simul*, c. 14, sy 3, ss. 549-564, Haz. 2021, doi: 10.1007/s12273-020-0701-7.
6. N. Al-Tamimi ve A. Qahtan, "Influence of glazing types on the indoor thermal performance of tropical high-rise residential buildings", içinde *Key Engineering Materials*, Trans Tech Publications Ltd, 2016, ss. 27-37. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.692.27.
7. B. Raji, M. J. Tenpierik, ve A. van den Dobbelen, "Early-stage design considerations for the energy-efficiency of high-rise office buildings", *Sustainability (Switzerland)*, c. 9, sy 4, Nis. 2017, doi: 10.3390/su9040623.
8. H. Sarmadi ve M. Mahdavejad, "A designerly approach to Algae-based large open office curtain wall Façades to integrated visual comfort and daylight efficiency", *Solar Energy*, c. 251, ss. 350-365, Şub. 2023, doi: 10.1016/j.solener.2023.01.021.
9. M. Detsi, A. Manolitsis, I. Atsonios, I. Mandilaras, ve M. Founti, "Energy savings in an office building with high WWR using glazing systems combining thermochromic and electrochromic layers", *Energies (Basel)*, c. 13, sy 11, Haz. 2020, doi: 10.3390/en13113020.
10. E. Cuce, C. H. Young, ve S. B. Riffat, "Thermal performance investigation of heat insulation solar glass: A comparative experimental study", *Energy Build*, c. 86, ss. 595-600, 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2014.10.063.
11. A. B. S. Bahaj, P. A. B. James, ve M. F. Jentsch, "Potential of emerging glazing technologies for highly glazed buildings in hot arid climates", *Energy Build*, c. 40, sy 5, ss. 720-731, 2008, doi: 10.1016/j.enbuild.2007.05.006.
12. C. Feng, F. Ma, R. Wang, Z. Xu, L. Zhang, ve M. Zhao, "An experimental study on the performance of new glass curtain wall system in different seasons", *Build Environ*, c. 219, Tem. 2022, doi: 10.1016/j.buildenv.2022.109222.

13. Kovach, “Curtain Wall and Window Wall: What’s the difference?” Erişim: 03 Mart 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.kovach.net/understanding-window-wall-curtain-wall/>
14. C. C. Baniotopoulos, T. N. Nikolaidis, ve G. Moutsanidis, “Optimal structural design of glass curtain-wall systems”, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings*, c. 169, sy 6, ss. 450-457, Haz. 2016, doi: 10.1680/jstbu.13.00088.
15. M. Saleem vd., “Life Cycle Thinking–Based Selection of Building Facades”, *Journal of Architectural Engineering*, c. 24, sy 4, Ara. 2018, doi: 10.1061/(asce)ae.1943-5568.0000333.
16. Y. Wu ve C. Flemmer, “Glass Curtain Wall Technology and Sustainability in Commercial Buildings in Auckland, New Zealand”, *International Journal of Built Environment and Sustainability*, c. 7, sy 2, ss. 57-65, Nis. 2020, doi: 10.11113/ijbes.v7.n2.495.
17. S. Görgülü, “Işık borusuyla aydınlatılan odanın şebeke destekli yapay aydınlatma ile kontrolü ve görüntülenmesi”, 2011.
18. Illuminating Engineering Society of North America (IESNA), *IES Lighting Handbook, Reference Volume*. 2000.
19. M. Brzezicki, “An evaluation of useful daylight illuminance in an office room with a light shelf and translucent ceiling at 51° n”, *Buildings*, c. 11, sy 11, Kas. 2021, doi: 10.3390/buildings11110494.
20. X. Liu, Y. Sun, S. Wei, L. Meng, ve G. Cao, “Illumination distribution and daylight glare evaluation within different windows for comfortable lighting”, *Results in Optics*, c. 3, May. 2021, doi: 10.1016/j.rio.2021.100080.
21. R. Emmanuel, H. Rosenlund, ve E. Johansson, “Urban shading - A design option for the tropics? A study in Colombo, Sri Lanka”, içinde *International Journal of Climatology*, Kas. 2007, ss. 1995-2004. doi: 10.1002/joc.1609.
22. A. Al Touma ve D. Ouahrani, “Shading and day-lighting controls energy savings in offices with fully-Glazed façades in hot climates”, *Energy Build*, c. 151, ss. 263-274, Eyl. 2017, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.06.058.
23. C. H. Cheong, T. Kim, ve S. B. Leigh, “Thermal and daylighting performance of energy-efficient windows in highly glazed residential buildings: Case study in Korea”, *Sustainability (Switzerland)*, c. 6, sy 10, ss. 7311-7333, 2014, doi: 10.3390/su6107311.
24. A. Aksamija, “Design methods for sustainable, high-performance building facades”, *Advances in Building Energy Research*, c. 10, sy 2. Taylor and Francis Ltd., ss. 240-262, 02 Temmuz 2016. doi: 10.1080/17512549.2015.1083885.
25. K. Banionis, J. Kumžienė, A. Burlingis, J. Ramanauskas, ve V. Paukštys, “The changes in thermal transmittance of window insulating glass units depending on outdoor temperatures in cold climate countries”, *Energies (Basel)*, c. 14, sy 6, Mar. 2021, doi: 10.3390/en14061694.
26. Y. T. Kwok vd., “Thermal comfort and energy performance of public rental housing under typical and near-extreme weather conditions in Hong Kong”, *Energy Build*, c. 156, ss. 390-403, Ara. 2017, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.09.067.
27. M. Arnesano vd., “Optimization of the thermochromic glazing design for curtain wall buildings based on experimental measurements and dynamic simulation”, *Solar Energy*, c. 216, ss. 14-25, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.solener.2021.01.013.
28. Atthaiillah, R. A. Mangkuto, M. D. Koerniawan, J. L. M. Hensen, ve B. Yulianto, “Optimization of Daylighting Design Using Self-Shading Mechanism in Tropical School Classrooms with Bilateral Openings”, *Journal of Daylighting*, c. 9, sy 2, ss. 117-136, Ara. 2022, doi: 10.15627/jd.2022.10.
29. Atthaiillah, R. A. Mangkuto, M. D. Koerniawan, ve B. Yulianto, “On the Interaction between the Depth and Elevation of External Shading Devices in Tropical Daylit Classrooms with Symmetrical Bilateral Openings”, *Buildings*, c. 12, sy 6, Haz. 2022, doi: 10.3390/buildings12060818.

30. M. Liberska ve L. Maierová, “Daylighting provision and visual comfort in unilaterally and bilaterally illuminated classrooms”, içinde *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing Ltd, Kas. 2021. doi: 10.1088/1742-6596/2042/1/012134.
31. “Folkart Towers”. Erişim: 20 Mart 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://maps.app.goo.gl/xsfck46pwvjwyRS67>
32. Master Wall Inc., “Light Reflectance and EIFS”, 2018.
33. Leaderflash Shapland, “Light reflectance values (LRV’s).” Erişim: 23 Mart 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <http://www.leaderflushshapland.co.uk/Integrated-doorsets/Technical-Resources/Light-reflectance-values-PVC-laminates>
34. Steelscape, “Virtual Color Palette – Creativity Begins Here”. Erişim: 23 Mart 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.steelscape.com/color-and-design-solutions/virtual-color-page/>
35. Isıcam Sistemleri, “Isıcam S L T”. Erişim: 23 Mart 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.isicam.com.tr/tr/urunler/profesyoneller-icin-urun-katalogu/isicam-s-l-t>
36. Climate Studio, “Custom Daylight Availability”. Erişim: 02 Şubat 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://climatestudiodocs.com/docs/daylightCustom.html>
37. L. Gábrová, “Comparison between Dynamic and Static Metrics for Daylight Evaluation in the Case of Obstructed Buildings”, *Applied Mechanics and Materials*, c. 861, ss. 477-484, Ara. 2016, doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.861.477.
38. C. Reinhart, “Opinion: Climate-based daylighting metrics in LEEDv4 - A fragile progress”, *Lighting Research and Technology*, c. 47, sy 4. SAGE Publications Ltd, s. 388, 06 Haziran 2015. doi: 10.1177/1477153515587613.
39. GitHub, “Direct Sun Hours”. Erişim: 28 Mart 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: [https://github.com/Sustainable3DCities/Direct\\_Sun\\_Hours](https://github.com/Sustainable3DCities/Direct_Sun_Hours)
40. N. Roy ve K. Johnsen, “Daylight calculations in practice: An investigation of the ability of nine daylight simulation programs to calculate the daylight factor in five typical rooms”, 2013. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.researchgate.net/publication/283357163>

# YARIM HÜCRE GÜNEŞ PANELLERİNİN ENERGYPLUS İLE SİMÜLASYONU İÇİN GELİŞTİRİLMİŞ YENİ BİR YAKLAŞIM

Gözde Gali Taşçı<sup>1</sup>

Alpay Akgüç<sup>2</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Beykent Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi,  
Ayazağa, Hadım Koruyolu Cad. No:19, 34398, Sarıyer, İstanbul,

<sup>2</sup>İstanbul Bilgi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi,

Kazım Karabekir Cad., No: 2/13, 34060, Eyüpsultan, İstanbul, Türkiye

## ÖZET

Yarım hücre güneş panelleri yüksek verimlilikleri ve gölgeli koşullarda dahi sergiledikleri üstün performans ile geliştirilmeye devam eden yenilenebilir enerji sistemlerinden biridir. Bu panellerin binanın enerji performansına etkisinin gerçeğe en yakın düzeyde tahmin edilmesi detaylı dinamik hesaplama yöntemini kullanan simülasyon araçlarıyla mümkün olabilmektedir. Panellerin verimlilik analizlerinin doğru şekilde yapılabilmesi için kullanılacak güneş panelinin teknik özelliklerini enerji modeline benzetim yoluyla en doğru biçimde aktaracak simülasyon aracının seçimi de oldukça önemlidir. Bu çalışma kapsamında yarım hücre güneş panellerinin binalarda kullanımının EnergyPlus bina simülasyon aracıyla test edilmesi için yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Çalışmada, benzetim yöntemiyle EnergyPlus'ta modellenen yarım hücre güneş panellerinin İstanbul'da bulunan 1+1 bir konut binasının yıllık elektrik enerji ihtiyacına olan etkisi değerlendirilmiş olup simülasyonla elde edilen panel güçlerinin panel firmalarının ölçtüğü güç değerleriyle arasındaki fark Normalized Mean Bias Error yöntemiyle hesaplanarak yapılan benzetimin hata oranı (%) belirlenmiştir.

*Anahtar sözcükler: Bina Enerji Performans Simülasyonu, Elektrik Üretimi, EnergyPlus, PV, Yarım Hücre Güneş Paneli*

## ABSTRACT

Half-cell solar panels are one of the renewable energy systems that continue to be developed due to their high efficiency and superior performance even under shaded conditions. Accurately predicting the impact of these panels on the building's energy performance can be achieved through simulation tools used detailed dynamic calculation methods. The selection of a simulation tool that accurately integrates the technical features of the solar panel into the energy model through simulation is also crucial for the proper analysis of the panels' efficiency. In present study, a new approach has been developed for testing the use of half-cell solar panels for buildings by EnergyPlus building simulation tool. The impact of half-cell solar panels modeled in EnergyPlus using simulation method on the annual electricity energy demand of a 1+1 residential building located in Istanbul has been evaluated. Additionally, the difference between the generated powers obtained by the simulation and those measured by the panel companies has been calculated using the Normalized Mean Bias Error method to determine the error rate (%).

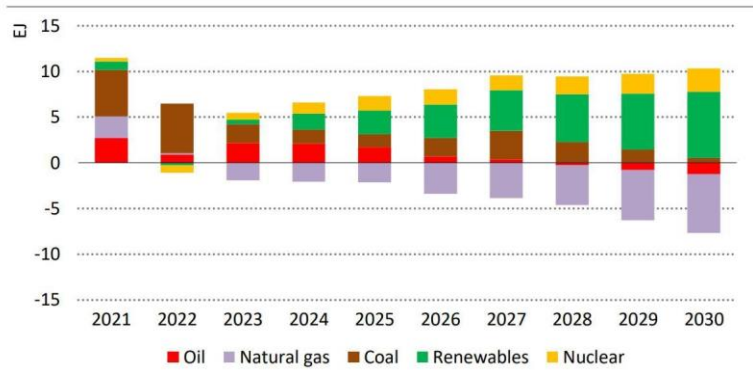
*Key words: Building Energy Performance Simulation, Electricity Generation, EnergyPlus, PV, Half-cell Solar Panel*

<sup>1</sup> e-posta adresi: gozdetasci@beykent.edu.tr

<sup>2</sup> e-posta adresi: alpay.akguc@bilgi.edu.tr

## 1.GİRİŞ

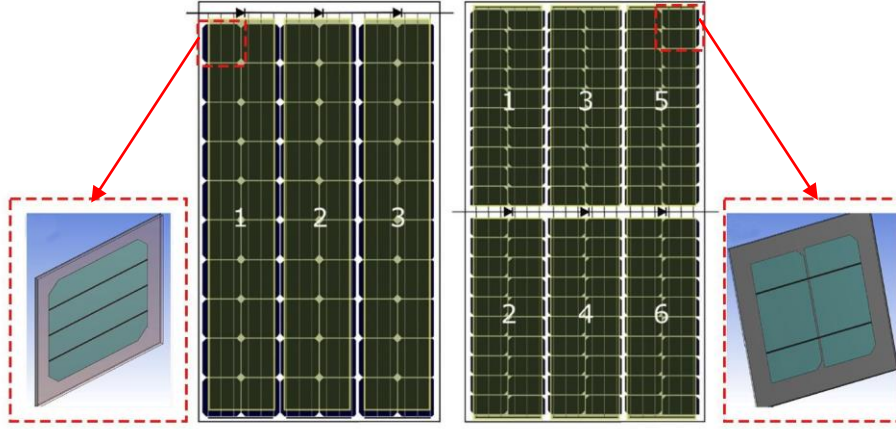
Küresel iklim değişikliği ve ülkelerin enerji güvenliklerine karşı olası tehditler göz önünde bulundurulduğunda, dünya genelindeki fosil yakıtların kullanımının azaltılarak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım yoğunluğunun artırılması büyük önem arz etmektedir. Yapılan araştırmalar, enerji talebindeki artışı karşılamak için kullanılan yakıtların karışımının önceki tahminlere göre önemli ölçüde değiştiğini ortaya koymuştur. **Şekil 1**'de 2021 ile 2030 yılları arasında belirtilen politika senaryosunun (BPS) enerji kaynaklarına göre değişimi gösterilmektedir. Bu şekle göre, 2022'deki BPS gaz talebi 2021'e göre oldukça düşükken, yenilenebilir enerji kaynaklarının başını çektiği düşük emisyonlu kaynaklarda daha da büyük bir büyüme görülmektedir. Ayrıca, kömürün yükselişinin kısa ömürlü olacağı ve 2030'a kadar kömüre olan talebin oldukça azalacağı da dikkat çekmektedir [1]. Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisine olan talep giderek artmakta ve güneş enerjisinden elektrik ve sıcak su elde edilen teknolojilerin pazar payı giderek yükselmektedir. Bu teknolojiler arasından oldukça yüksek talep gören fotovoltaik (PV) paneller, güneş enerjisinden ürettikleri elektrik enerjisinin imalat sektöründen konut ve taşımacılık sektörüne kadar oldukça geniş bir alanda kullanımına imkân sağlamaktadır.



**Şekil 1.** 2021 - 2030 yılları arasındaki BPS'nin toplam enerji arzı farkı [1].

Öte yandan, dünya çapında PV'lerin devam eden kullanımı, yakın geçmişte araştırmacıların dikkatini çekmiş ve bu durum, otomatik üretim hatlarının mevcudiyeti ile yeni hücre malzemeleri ve tasarımlarının geliştirilmesine yol açmıştır. Standart PV modüller, genellikle 15.6 x 15.6 cm<sup>2</sup> boyutlara sahip tam hücreli olarak üretilmekteydi [2]. Tam hücreli güneş panellerindeki hücreden modüle güç kaybı faktörleri ve uyumsuzluk kayıpları modülün çıkış gücü üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır [3]. Son zamanlarda yapılan araştırmalarla yarım kesilmiş hücre veya bire üç kesilmiş hücre gibi kesilmiş hücreli modüllerin daha düşük seri direnç kaybı ve gelişmiş optik verim yoluyla hücreden modüle enerji kaybını azalttığı bildirilmektedir [4, 5]. Ayrıca bu modüller gölgeli koşullarda dahi gelişmiş performans gösterebilirler [6]. Bu özellikleri sayesinde büyümelerinin önümüzdeki yıllarda da devam etmesi ve pazar paylarının 2018'deki %5'ten 2028'de %40'a çıkması beklenmektedir. [7]. Yarım hücre güneş paneli teknolojisinde, hücreler (**Şekil 2a**) bir lazer yardımıyla çok hassas bir şekilde ikiye bölünür (**Şekil 2b**) ve böylece panele daha fazla hücre sığabilir. Hücreler ikiye bölündüğünde hücreler içindeki akım da ikiye bölünmüş olur.





Şekil 2. Üç bypass diyotlu standart 60 tam hücreli modül (sol) ve 120 yarım hücreli modül (sağ) gösterimleri [4, 8].

Bu durum akım yoluyla hareket eden enerjiden kaynaklanan direnç kayıplarını azalttığı için güneş panellerinin enerji çıkışını artırır. Geleneksel bir panelde, bir hücre gölgeli veya arızalı olduğunda ve enerjiyi işlemediğinde, seri kablolama içindeki tüm sıra güç üretmeyi durduracaktır. Ancak yarım hücre güneş panellerinde panel ikiye bölünür, böylece üst kısım alt kısımdan bağımsız olarak çalışır, bu da panelin yarısı gölgeli olsa bile diğer panelde kesintisiz güç üretileceği anlamına gelir. Yarım hücre güneş panelleri daha yüksek modül verimliliği sunan Passivated Emitter and Rear Contact (PERC) teknolojisiyle yapılmaktadır. PERC güneş hücreleri, geleneksel güneş panellerine göre daha fazla enerji üreten, geliştirilmiş solar hücrelerdir. Güneş panelleri birçok katmandan oluşur. Güneş ışınları bu katmanları geçer ve hücrelerin bulunduğu katman güneş ışığını elektrığe dönüştürür. Güneş panelinin en alt kısmına eklenen PERC hücre tabakası, diğer katmanlardan sızan ve elektrığe dönüştürülmeyen ışınları panelin içine geri yansıtır. Bu sayede, geri yansıtılan güneş ışığı da elektrığe dönüştürülür. PERC tabakası sayesinde daha fazla elektrik elde edilir [9].

Bu araştırmada, EnergyPlus ve DesignBuilder bina simülasyon programları kullanılarak benzetim yöntemiyle modellenecek olan yarım hücre güneş panellerinin İstanbul'da bulunan 1+1 bir konut binasının yıllık elektrik enerji ihtiyacına olan etkisi değerlendirilecektir. Ardından, simülasyonla elde edilen panel güçlerinin panel firmalarının ölçtüğü güç değerleriyle arasındaki fark Normalized Mean Bias Error (NMBE) yöntemiyle hesaplanarak yapılan benzetimin hata oranı (%) tespit edilecektir.

## 2. YÖNTEM

2000'li yılların başından itibaren enerji talebi ve tüketimi hesaplamalarının, ısı ve görsel konfor analizlerinin ve sera gazı salınımı miktarlarının değerlendirilmesinin bilimsel olarak geliştirilmiş modüller aracılığıyla, bina enerji performansı simülasyonu (BEPS) araçlarının bina tasarım sürecine dâhil edilmesinde gözle görülür bir artış görülmektedir. Binalarda enerji verimli tasarımın sağlanması için BEPS'lerin tasarım sürecinin başında yapılması ve inşaat sürecine kadar devam etmesi gerekmektedir [10]. Bu araçlar arasından detaylı dinamik hesaplama metodolojisini kullanan simülasyon araçları ön plana çıkmıştır. EnergyPlus ve DesignBuilder bu metodolojiyi kullanan bina simülasyon araçlarıdır.

EnergyPlus, 1970'lerde ABD Enerji Bakanlığı tarafından geliştirilen, mühendislerin ve mimarların binaların enerji, aydınlatma, su, sera gazı salımı, maliyet ve yaşam döngüsü değerlendirmeleri gibi konulardaki analizlerini eksiksiz bir şekilde gerçekleştirmelerine olanak tanıyan kapsamlı bir bina enerji performansı modelleme aracıdır. DesignBuilder ise, tüm enerji analizlerini EnergyPlus'ın hesaplama altyapısını kullanarak gerçekleştiren ve kullanıcı dostu ara yüzü sayesinde binaların enerji modellemesini oldukça kolaylaştırmış İngiltere merkezli bir bina enerji performansı modelleme aracıdır [11]. Bu araçların her ikisi de bir dizi araştırma çalışmasıyla test edilerek vermiş oldukları sonuçların doğruluğu ve güvenilirliği onaylanmış olup enerji hesaplamaları için EN 13790 standardında belirtilen detaylı dinamik metodolojiyle kullanılmaktadırlar [12]. Bu uluslararası standart, konut veya konut dışı bir binanın veya "bina" olarak adlandırılan bir bölümünün mekân ısıtma ve soğutması için yıllık enerji kullanımının değerlendirilmesi için hesaplama yöntemlerini kapsar [13]. Bu araçlar sayesinde, yenilenebilir enerji sistemlerinin performansları ve kullanımlarının binalar üzerindeki etkileri hesaplanabilmektedir. Bu sistemler, sürekli olarak geliştirilen yüksek teknoloji ürünü sistemlerdir. Ancak gelişen bu teknolojilerin tamamının bina simülasyon araçlarına entegre edilmesi eş zamanlı olarak mümkün olamamaktadır. Bu sebeple, mevcut simülasyon araçlarında bulunan modüller, günümüz teknolojilerine benzetim yoluyla adapte edilebilirler.

Bu çalışmada, günümüzün yüksek teknolojiye yenilenebilir enerji sistemlerinden olan yarım hücre güneş panellerinin EnergyPlus simülasyon aracına benzetim yoluyla nasıl entegre edileceği üzerine yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşımın gerekliliği, bina simülasyon araçları yardımıyla tasarım aşaması öncesinde, gerçeğe en yakın sonuçların elde edilebilmesi amacıyla, sistemin teknik özelliklerinin simülasyon modülünde en doğru biçimde kurgulanmasını sağlamaktır. Bu amaçla, ilk aşamada DesignBuilder simülasyon aracı kullanılarak net alanı 44.89 m<sup>2</sup> olan 1+1 bir konut binasının enerji modeli oluşturulmuş ve bina İstanbul iklim verileri altında simüle edilerek binanın yıllık ısıtma ve soğutma yükleri elde edilmiştir. İkinci aşamada, binanın çatısına güneşe yönlendirilmiş biçimde yarım hücre güneş paneli modellenmiş ve standart test koşulları (STC) altında farklı güçler üreten 11 panelin yıl boyu ne kadar elektrik enerjisi ürettiği analiz edilmiştir. Bunun yanı sıra simülasyonla üretilen saatlik maksimum elektrik gücünün panel firmalarının verdiği referans maksimum güç değerleriyle kıyaslanarak benzetim yönteminin doğruluğunun test edilmesi için Normalized Mean Bias Error (NMBE) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem sayesinde panel firmaları tarafından ölçülmüş gerçek değerlerle simülasyonlar neticesinde elde edilmiş sayısal değerler arasındaki genel farkın (hata) yüzdesi hesaplanmıştır. Hata oranının pozitif olması simülasyon değerinin ölçülen değerinin altında olduğunu, negatif olması simülasyon sonucunun ölçülen değerinin üstünde olduğunu gösterecektir. Bu hesap için kullanılan eşitliğe aşağıda yer verilmiştir. Eşitlikte p, ayarlanabilir model parametrelerinin sayısını ifade eder ve kalibrasyon amacıyla sıfır olması önerilir [14, 15]. Hesap sonrasında örneklemelerin hata oranları birbiriyle kıyaslanarak hata oranının tutarlılığı değerlendirilmiştir.

$$NMBE = \frac{1}{\bar{m}} \times \frac{\sum_{i=1}^n (m_i - s_i)}{n-p} \times 100(\%) \quad (1)$$

$\bar{m}$ : ölçülen değerlerin ortalaması,

$n$ : ölçülen veri sayısı,

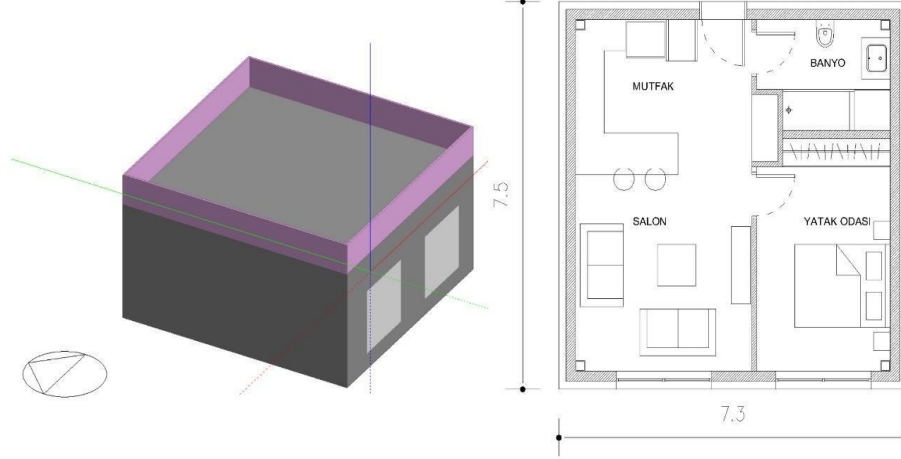
$m_i$ : ölçülen değer,

$s_i$ : simülasyon değeri,

$p$ : ayarlanabilir model parametrelerinin sayısı

### 3. KONUT BİNASININ VE YARIM HÜCRE GÜNEŞ PANELİNİN MODELLENMESİ

Çalışma kapsamında, 7.3 x 7.5 x 3.5 metre ölçülerinde, 1+1 konseptinde müstakil bir konut projesi hazırlanmıştır. Projesi oluşturulan binanın simülasyon modeli görseli ve planı Şekil 3'te yer almaktadır.



Şekil 3. Konut binasının aksonometrik görünümü (solda) ve planı (sağda).

Bina kabuğunun toplam ısı iletkenlik katsayıları (U değeri) İstanbul iklimi için TS825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standardının öngördüğü referans değerlere göre belirlenmiştir. Bu doğrultuda U değeri; dış duvar için 0.385 W/m<sup>2</sup>K, teras çatı için 0.248 W/ m<sup>2</sup>K, zemine oturan döşeme için 0.382 W/m<sup>2</sup>K olacak şekilde katmanlaşma yapılmıştır. Camlar için U değeri 1.6 W/m<sup>2</sup>K, SHGC 0.56 (%), T<sub>vis</sub> 0.79 (%) olarak gerçek bir firmanın [16] cam değerlerinden alınmıştır. Camlarda alüminyum doğrama kullanılmıştır. Bina enerji modelinde kullanıcı yoğunluğu, aydınlatma ve ekipmanlar için ASHRAE 90.1 standardı verileri kullanılmıştır [17]. Isıtma ve soğutma dönemleri termostat değerleri ise sırasıyla 20°C ve 26°C olarak alınmıştır. Modelleme kapsamında Şekil 3'te gösterilen planda yer alan mahallerin kapılarının çoğunlukla açık kalıyor olduğu göz önünde bulundurularak katın tamamı iklimlendirilen tek bir ısıl zon olarak ele alınmıştır [18]. İklimlendirilen net toplam alan 44.89 m<sup>2</sup>'dir. Modelleme sonucunda ilk olarak binanın ısıtma ve soğutma dönemleri için yıllık enerji ihtiyacı belirlenmiştir. Elde edilen simülasyon sonuçları Çizelge 1'de yer almaktadır.

Çizelge 1: Konut binasının yıllık doğalgaz ve elektrik ihtiyacı

	Yıllık Doğalgaz İhtiyacı (kWh/m <sup>2</sup> .y)	Yıllık Elektrik İhtiyacı (kWh/m <sup>2</sup> .y)
Isıtma	65.27	-
Soğutma	-	9.00
Aydınlatma	-	13.32
Ekipman	-	14.10
<b>TOPLAM</b>	<b>65.27</b>	<b>36.42</b>

Yarım hücre güneş panelleriyle bu enerji ihtiyacının ne kadarının karşılanabildiğinin hesaplanabilmesi için öncelikle bu panel tipinin kullanılan bina enerji simülasyon aracına tanımlanması gerekmektedir. Ancak EnergyPlus'ta yarım hücre güneş panellerinin modellenmesi için bir hesaplama modülü henüz bulunmadığı için mevcut bir güneş paneli modülünden faydalanarak bu panele ait hesap modülü uygulanan yaklaşımla yarım hücre güneş paneline benzetilmiştir. Bu amaçla, farklı firmalara ait 11 adet farklı güçteki yarım hücre güneş paneli ele alınmıştır. Bu paneller için oluşturulan örneklem kodu ve panellerin özellikleri **Çizelge 2**'de yer almaktadır. Çizelge 2'de yer alan gerilimler Volt (V) cinsinden olup, akımlar Amper (A) cinsinden ifade edilmiştir. Örneklem kodlarında yer alan ÖA ve ÖB simgeleri farklı firmaları ifade etmektedir.

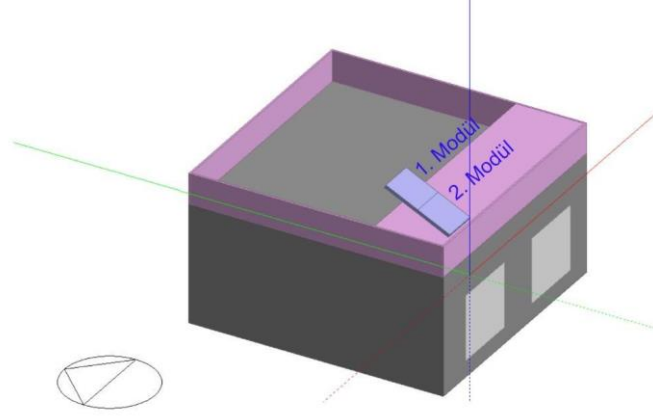
**Çizelge 2:** ÖA ve ÖB firmalarının farklı güçlerde ürettikleri güneş panellerinin teknik özellikleri [19, 20].

	STC Maksimum Güç (W)	Yarım Hücre Sayısı (adet)	Açık Devre Gerilimi ( $V_{oc}$ )	Kısa Devre Akımı ( $I_{sc}$ )	Maksimum Güç Gerilimi ( $V_{mp}$ )	Maksimum Güç Akımı ( $I_{mp}$ )
ÖA1	360	120	41.2	11.16	34.2	10.53
ÖA2	365	120	41.4	11.26	34.4	10.62
ÖA3	370	120	41.6	11.34	34.6	10.70
ÖA4	375	120	41.8	11.41	34.8	10.78
ÖA5	440	144	49.7	11.27	41.4	10.63
ÖA6	445	144	49.9	11.34	41.6	10.70
ÖA7	450	144	50.10	11.41	41.80	10.77
ÖA8	455	144	50.30	11.48	42.00	10.84
ÖB1	450	144	49.56	11.23	42.75	10.53
ÖB2	455	144	49.72	11.25	42.79	10.66
ÖB3	460	144	49.80	11.26	42.82	10.76

EnergyPlus'ta güneş paneli modellenirken hücre sayısı girişi sınırlı olduğu için **Çizelge 2**'deki gibi yüksek sayıda olan hücre sayısı hesaplama modülüne dâhil edilememektedir. Bu nedenle panel öncelikle, paralel bağlantılarının olduğu orta noktadan ikiye bölünerek 2 parça olarak modellenmiştir. Sonrasında, binanın teras çatısına bir platform yerleştirilmiş ve panel firmaları tarafından verilen panel boyutları dikkate alınarak modüller modellenmiştir. Bu modüller platforma İstanbul'da yıl boyunca elektrik üretimi için en uygun eğim değeri olarak belirlenen  $26^\circ$  eğimle yerleştirilmiştir. **Şekil 4**'te yarım hücre güneş panelinin de yer aldığı bina enerji modeli görseli bulunmaktadır. Enerji modelinde Çizelge 2'de yer alan veriler her bir örneklem için ayrı ayrı tanımlanmış, bazı veriler ise her örnekte sabit kabul edilmiştir. Tüm veriler, EnergyPlus içerisindeki "PhotovoltaicPerformance:EquivalentOne-Diode" modülüne benzetim yoluyla tanımlanmıştır. **Şekil 5**'te, ÖA1 için yapılan örnek bir veri girişi görseli yer almaktadır.

ÖA1, **Çizelge 2**'den de görüldüğü üzere 120 adet yarım hücreye sahiptir. Bu çalışmada panel, iki ayrı modül olarak modellenmiş olduğu için her bir modülde 60 adet yarım hücre bulunmaktadır. Ancak bu hücreler EnergyPlus'a tanımlanırken yarım hücre olarak veri girişi mümkün olmadığı için 30 adet tam hücre olarak tanımlanmıştır. Ardından panelin toplam alanı, iki ayrı modül olarak modellendiği için ikiye bölünmüş ve her bir modülün alanı  $0.85462 \text{ m}^2$  olarak belirlenmiştir. Panel ikiye bölünmüş olsa da modüller paralel bağlantılı oldukları için her bir modülün çıkış gerilimi

değişmeyecektir. O nedenle Çizelge 2’deki gerilimlere ait sayısal veriler aynı kabul edilmiştir. Ancak yarım hücre güneş panellerinde yer alan her iki modül de paralel bağlı oldukları için ve paralel bağlantılar arasında akım paylaşıldığı için toplam akım bu modüller arasında yarı yarıya paylaştırılmıştır. Bu nedenle Çizelge 2’deki akımlara ait sayısal veriler ikiye bölünerek enerji modeline dâhil edilmiştir.



Şekil 4. Konut binası için modellenen yarım hücre PV paneli.

Field	Units	Obj1
Name		ÖA1 PV Panel
Cell type		CrystallineSilicon
Number of Cells in Series	dimensionless	30
Active Area	m2	0.85462
Transmittance Absorptance Product	dimensionless	0.9
Semiconductor Bandgap	eV	1.12
Shunt Resistance	ohms	1000000
Short Circuit Current	A	5.58
Open Circuit Voltage	V	41.2
Reference Temperature	C	25
Reference Insolation	W/m2	1000
Module Current at Maximum Power	A	5.265
Module Voltage at Maximum Power	V	34.2
Temperature Coefficient of Short Circuit Current	A/K	0.0005
Temperature Coefficient of Open Circuit Voltage	V/K	-0.0028
Nominal Operating Cell Temperature Test Ambient Temperature	C	20
Nominal Operating Cell Temperature Test Cell Temperature	C	45
Nominal Operating Cell Temperature Test Insolation	W/m2	800
Module Heat Loss Coefficient	W/m2.K	30
Total Heat Capacity	J/m2.K	50000

Şekil 5. EnergyPlus’ın PhotovoltaicPerformance:EquivalentOne-Diode modülünde ÖA1 için verilerin benzetim yoluyla tanımlanması.

#### 4. BULGULAR

PV panellerden elde edilen elektrik doğru akımdır (DC). Ancak bu akımın bir invertör yardımıyla alternatif akıma (AC) dönüştürülerek kullanılması gerekmektedir. Bunun nedeni, evlerde ve iş yerlerinde kullanılan tüm elektrikli aletlerin AC akımla çalışıyor olmasıdır. Bu çalışma kapsamında panel firmalarının verdiği ölçülen elektrik gücü DC akım üzerinden tanımlandığı için simülasyon sonucu üretilen maksimum panel elektrik gücü de DC akım üzerinden değerlendirilmiştir. Ancak panelin ürettiği yıllık elektriğin binanın yıllık elektrik ihtiyacının ne kadarına karşılık geldiğini hesaplarken modelde %90 verimlilikte çalışan bir invertör kullanıldığı varsayılmıştır. Çizelge 3’te

invertörden çıkan elektriğin yıllık toplam değeri AC akım cinsinden gösterilirken, bu değerlerin binanın yıllık elektrik enerjisi ihtiyacının ne kadarını karşılıyor olduğu oransal olarak belirtilmiştir.

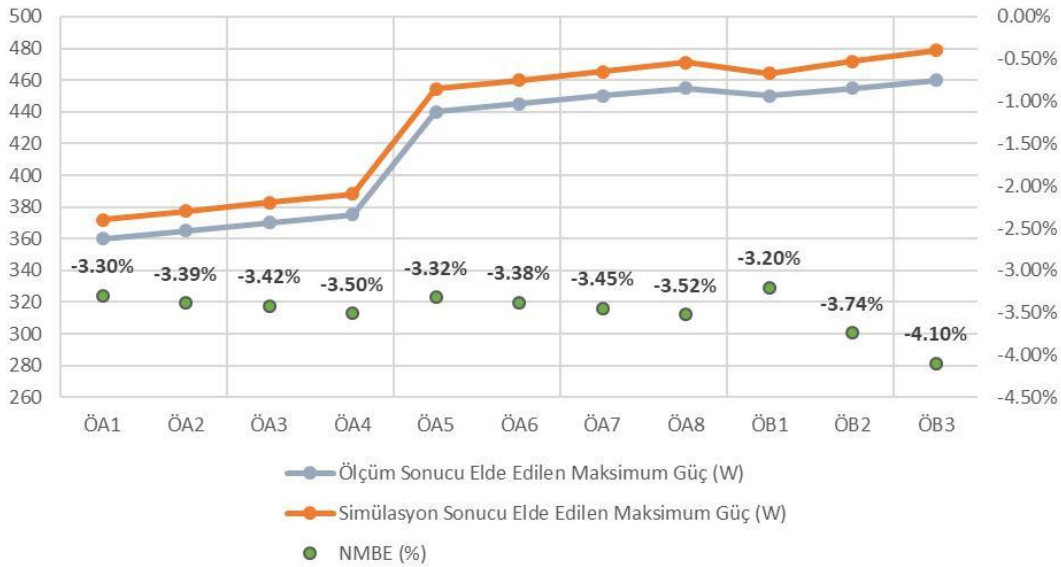
**Çizelge 3:** PV panellerin simülasyon sonucu elde edilen yıllık elektrik üretim miktarı ve bu miktarın binanın yıllık elektrik ihtiyacına oranı.

	Üretilen Yıllık Elektrik Enerjisi (kWh/y)	Karşılanan Elektrik Oranı (%)
ÖA1	458.17	37.24
ÖA2	463.42	37.67
ÖA3	468.19	38.06
ÖA4	472.94	38.44
ÖA5	558.98	45.44
ÖA6	563.93	45.84
ÖA7	568.91	46.24
ÖA8	573.92	46.65
ÖB1	565.73	45.99
ÖB2	571.34	46.44
ÖB3	576.39	46.85

**Çizelge 3**'ten görüldüğü gibi çatıda 1 adet yarım hücre güneş panel kullanımı, panelin gücü ile doğru orantılı olacak şekilde %37.24 ile %46.85 oranları arasında, binanın yıllık elektrik yükünü karşılayabilmektedir. Yarım hücre güneş panellerinin yüksek verimli olması bu oranlar üzerinde etkilidir. Benzetim yolu ile oluşturulan enerji modelinin hata oranının analiz edilebilmesi için panel firmaları tarafından ölçülerek verilen maksimum güç değerleri ile simülasyon sonucu elde edilen maksimum güç değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 6'da görüldüğü üzere simülasyon sonucu elde edilen maksimum güç değerleri firmalardan alınan değerlerin üzerinde çıkmıştır. Buradaki hata oranının tespiti için NMBE yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem doğrultusunda verilen eşitlik, 11 adet PV paneli için ayrı ayrı uygulanmıştır. Hesaplamalarda  $\bar{m}_m$  ve  $m_i$  için panel firmalarından alınan ölçülmüş maksimum güç değerleri,  $s_i$  için simülasyon sonucu elde edilen maksimum güç değerleri girilmiştir. NMBE hesaplaması her panel için ayrı ayrı yapıldığından n değeri 1 olarak alınmıştır. p değeri ise araştırmalarda önerildiği üzere 0 kabul edilmiştir. Bu hesaplamalar sonucunda, her panelin simülasyon sonucu elde edilen maksimum güç verilerine ait hata oranları negatif olarak elde edilmiştir. Bu oranların negatif olma nedeni, yukarıda da bahsedildiği gibi simülasyon sonucu elde edilen maksimum güç değerlerinin ölçüm sonucu elde edilen maksimum güç değerlerinden daha yüksek olmasıdır. NMBE yöntemiyle elde edilen sonuçlar da **Şekil 6**'da gösterilmiştir. ÖA1'den ÖA8'e kadar ölçüm ve simülasyon sonucu elde edilen maksimum güçler doğrusal olarak artmaktadır. Ancak, ÖA1-ÖA4 arası örneklerde panellerde yarım hücre sayısı 120 adet iken ÖA5-ÖA8 arası örneklerde panellerde yarım hücre sayısı 144'tür. Dolayısıyla bu örnek grupları arasında maksimum güç değişkenleri tek değişken olmadığı için bu iki grup arasında kıyaslama yapılması mümkün olamamaktadır.

Ancak, ÖA7 ve ÖB1 ile ÖA8 ve ÖB2'nin ölçülen maksimum güç değerleri ve panellerde yer alan yarım hücre sayıları aynıdır. Diğer değerlerde az miktarda farklılıklar mevcuttur. Hata oranlarına bakıldığında ÖA7, ÖA8, ÖB1, ÖB2 için sırasıyla %-3.45, %-3.52, %-3.20, %-3.74'tür. Bu durumda hata oranının panel maksimum güç ve/veya yarım hücre sayısına bağlı olarak benzerlik gösterdiği söylenememektedir. Ancak aynı boyutlardaki panel grupları (ÖA1-ÖA4, ÖA5-ÖA8,

ÖB1-ÖB3) kendi aralarında değerlendirildiğinde, ölçüm ve simülasyon sonucu elde edilen maksimum güç değerleri arttıkça hata oranının da arttığı söylenebilir.



Şekil 6. Ölçüm ve simülasyon sonucu elde edilen maksimum güçlerin karşılaştırılması ve hata oranları (%).

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışma, yenilenebilir enerji kullanım hedeflerinin gerçekleştirilebilmesi ve bu doğrultuda alandaki teknolojik gelişmelerin gerçeğe uygulanabilmesi açısından, tam hücre PV panellerin yerini almakta olan yarım hücre PV panellerin, simülasyon araçlarında tüm bina ile birlikte değerlendirilmesini amaçlamıştır. Çalışma iki ana soru üzerinden yürütülmüştür. İlki, yarım hücre güneş panellerinin konut binalarının enerji ihtiyacını karşılamada ne kadar etkin olacağı; ikincisi ise EnergyPlus'a yarım hücre güneş panellerinin benzetim yoluyla nasıl tanımlanabileceğidir.

Yapılan simülasyonlar sonucunda, yarım hücre PV panellerin, konut binalarının yıllık elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamada oldukça etkin olabilecekleri tespit edilmiştir. Bu bir ön analiz çalışması olduğu için performans testleri sadece tek bir panel ve 1+1 müstakil bir konut binası için yapılmıştır. Elde edilen bu sonucun devamında, yarım hücre PV panelleri farklı konut tipleri için, farklı adet ve konumlarda test edilmelidir.

İkinci kısım, ilk kısımdaki çalışmanın ileriki aşamalara devam edebilmesi için oldukça önemli olduğundan, bu çalışma kapsamında oldukça detaylı olarak ele alınmıştır. Analizler neticesinde, 11 tip yarım hücre güneş paneli için ölçülen ve simülasyon sonucu elde edilen maksimum güçlere ait hata oranlarının NMBE yöntemi kullanılarak %-3.30 ve %-4.10 arasında olduğu tespit edilmiştir. Bu noktadan sonra çalışmalar, kullanılan yöntemin geliştirilmesiyle hata oranını sıfıra yaklaştıracak şekilde ilerletilebilir. Bu amaçla maksimum güç, hücre sayısı, panel alanı, gerilim, akım gibi parametreler için tek değişkenli simülasyonlar yapılarak, hangi parametrenin hata oranını daha çok etkilediği tespit edilebilir. Bu doğrultuda panel firmaları ile iş birliği içerisinde çalışılmaya devam edilmesinin önemli olacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

1. IEA, P. (2022). World energy outlook 2022. Paris, France: International Energy Agency (IEA).
2. J. Schneider, S. Schoenfelder, S. Dietrich, and M. Turek, Solar module with half size solar cells. 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Amsterdam, Niederlande, (2014), pp. 185-189.
3. I. M. Peters, Y. S. Khoo, and T. M. Walsh, Detailed current loss analysis for a PV module made with textured multicrystalline silicon wafer solar cells. IEEE Journal of Photovoltaics, (2014), 4(2), 585–593.
4. A.M. Gabor, R. Janoch, A. Anselmo, H. Field. Solar panel design factors to reduce the impact of cracked cells and the tendency for crack propagation. In: NREL PV Module Reliability Workshop, Denver, CO USA, (2015).
5. J. Qian, C. E. Clement, M. Ernst, Y. S. Khoo, A. Thomson, & A. Blakers. Analysis of hotspots in half cell modules undetected by current test standards. IEEE Journal of Photovoltaics, (2019), 9(3), 842-848.
6. H. Hanifi, J. Schneider, J. Bagdahn. Reduced shading effect on half-cell modules – measurement and simulation. In: 31st European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, (2015), pp. 2529–2533.
7. ITRPV, 2018. International technology roadmap for photovoltaic (ITRPV): 2017 Results including maturity report 2018.
8. M. W. Akram, G. Li, Y. Jin, C. Zhu, A. Javaid, M. Z. Akram, & M. U. Khan. Study of manufacturing and hotspot formation in cut cell and full cell PV modules. Solar Energy, (2020), 203, 247-259.
9. SUNART; Erişim 10 Mart 2024 (<<https://www.sunartpv.com/bilgi-bankasi/perc-hucre-teknolojisi>>)
10. A. Akguc, G. Gali, and A. Z. Yilmaz. Including the building energy performance consultancy to the integrated building design process: The industrial building case study in Turkey, VII. CLIMAMED Mediterranean Congress of Climatization, Istanbul, (2013), 3-4 October.
11. A. Akgüç. A new approach to increase energy efficiency of luxury high-rise residential blocks in complex buildings by utilizing advanced HVAC systems, (2019).
12. Z. Hemmatzadeh, & A. Akgüç. A Comparison of Traditional and Contemporary Buildings by Energy Efficiency and Greenhouse Gas Emission: A Case-Study from Tabriz-Iran. International Journal of Innovative Engineering Applications, 7(1), 62-75.
13. European Committee for Standardization (CEN); EN 13790 Energy performance of buildings — Calculation of energy use for space heating and cooling (ISO 13790:2008).
14. T.A. Reddy, I. Maor, S. Jian, C. Panjapornporn. Procedures for Reconciling Computer-Calculated Results with Measured Energy Data; Technical Report; American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers: Atlanta, GA, USA, (2006).
15. J. Robertson, B. Polly, J. Collis. Evaluation of Automated Model Calibration Techniques for Residential Building Energy Simulation; Technical Report, NREL Technical Report 5500-60127; National Renewable Energy Laboratory (NREL): Golden, CO, USA, (2013).
16. ŞİŞECAM; Erişim 1 Mart 2024 (<<https://www.sisecam.com.tr/tr>>)
17. ASHRAE, S. (2019). Standard 90.1-2019. energy standard for buildings except low-rise residential buildings. Am. Soc. Heating, Refrig. Air-Conditioning Eng. Inc, 278.
18. Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ, Resmi Gazete 27778 (7 Aralık 2010). Tebliğ No. YİG/2010-02, 02 – EK-1.
19. ELİN SIRIUS; Erişim 15 Ocak 2024 (<<https://siriuspv.com/tr>>)
20. ZORLU ENERGY SOLUTIONS; Erişim 15 Ocak 2024 (<<https://zes.net/pv/anasayfa>>)



## **AFET SONRASI GEÇİCİ BARINMADA SIFIR KARBON YAKLAŞIMI**

Zeynep GÜLER<sup>1</sup>  
Asude Yaren ÜNAL<sup>2</sup>  
Bursa Teknik Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi  
Yıldırım, Bursa, 16330

### **ÖZET**

*Yakın geçmişte yaşanan ve yaşanmaya devam eden afetlerle birlikte alışkanlıklar ve yaşam koşulları değişkenlik göstermeye başlamıştır. Afetlerin sonuçları barınma, beslenme, sağlık, eğitim gibi temel ihtiyaçların karşılanamaması gibi sorunlara sebep olmaktadır. Afet sonrası acil yardım aşamasında ilk barınma gereksinimlerine çevre koşullarına uzun süre dayanamayacak çözümlerle cevap verilmekte; yaşamsal ihtiyaçların gerçekleştirildiği yapıların kalıcı olarak planlanması ve uygulanmasına kadar geçen, 6 ay ile 10 yıl arasında değişiklik gösteren sürede geçici barınma birimlerine gerek duyulmaktadır. Uygulamaların işlevsel, sürdürülebilir, ekonomik ve hızlı üretimi rehabilitasyon aşamasında kullanılan geçici barınma uygulamalarının temel tasarım koşullarındadır. Afet sonrası geçici barınmanın sürdürülebilirlik kapsamında ele alınması ise literatürde yer almakta olup geliştirilmeye açık bir konu olarak görülmüştür. İnsanın önündeki en büyük sorunlardan biri iklim krizi olduğundan planlamayı yaparken ele alınması gereken önemli konulardan biri olarak belirlenmiştir. İklim kriziyle mücadele; CO<sup>2</sup> salınımını azaltmayı, buna ilişkin teknolojiler ve projelerin geliştirilmesini kapsar; günümüz sorunlarına çözüm üretirken sürdürülebilir yapma çevreyi düşünerek planlamalar yapılmalıdır. Bu çalışmada ön tasarım aşamasında BPS (Building Performance Simulation) araçlarından yararlanarak karşılaştırmalı verilerle optimum tasarımın belirlenmesiyle literatüre ve yapı endüstrisine katkı sağlanması amaçlanmıştır. Afet sonrası yaşam birimleri DesignBuilder programı kullanılarak simüle edilip metal, ahşap, çimento esaslı farklı duvar ürünleri ile CO<sup>2</sup> emisyonları hesaplanmış, karşılaştırmalı verilerle bu barınma birimleriyle ilgili tasarım ilkeleri önerilmiştir.*

*Anahtar sözcükler: Afet, geçici barınma, sıfır karbon, DesignBuilder*

### **ABSTRACT**

*The disasters changes habits and living conditions which causes problems such as the inability to meet basic needs. In the post disaster, the initial housing requirements are answered with solutions that cannot withstand environmental conditions; temporary housing units are needed from 6 months to 10 years. Functional, sustainable, economical and fast production of applications is one of the basic design elements of temporary housing. The consideration of temporary housing within the scope of sustainability after a disaster is included in the literature and also open to contribute. Combating the climate crisis includes reducing CO<sup>2</sup> emissions, developing related technologies and projects; creating sustainable solutions to today's problems, planning should be made by considering the environment. In this study, it is aimed to contribute to the literature and the construction industry by determining the optimal design with comparative data by using BPS tools at the preliminary design. Post-disaster living units were simulated using the DesignBuilder program and CO<sup>2</sup> emissions were calculated with different wall products and design principles related to these housing units were proposed with comparative data.*

*Keywords: Disaster, temporary shelter, zero carbon, DesignBuilder*

<sup>1</sup> e-posta adresi: zeynep.guler@btu.edu.tr

<sup>2</sup> e-posta adresi: asude.unal@btu.edu.tr

## 1.GİRİŞ

İnsanlar yaşamlarını doğada sürdürmekte zorlanmakta, sağlıklı, güvenli ve uygun yaşam ortamlarını sağlayabilmek için bir yapma çevre oluşturmaya ihtiyaç duymaktadır. Yapı, kullanıcılarının gereksinimlerini gidermek üzere tasarlanmış ve üretilmiş bir yapma çevredir [1] ve bu gereksinimleri kendisini oluşturan yapı ürünlerinin özellikleri ile karşılar [2].

Tarih boyunca pek çok yapı ürünü ve yapım sistemi üretilmiş olup kullanıcının ihtiyaçlarına göre yapma çevreler oluşturulmuştur. İlk çağlardan beri farklı dönemlerde yapıların kalıcılıkları, maliyetleri, boyutları, performansları ve fiziksel konfor koşullarını sağlamaya ilişkin yeni yaklaşımlar geliştirilmiştir; fakat canlıların barınma gereksinimleri bazı durumlarda sekteye uğramakta, yaşanan afetlerle birlikte pek çok kişi yaşam alanlarından mahrum kalmakta ve bu durum inşaat sektöründe önemli etkiler yaratmaktadır [3]. Afetlerin olumsuz etkileri sonucunda hızlı yapı üretimi ile mekân ihtiyaçları giderilmeye çalışılmakta ve geçici yapılaşma kavramı ortaya çıkmaktadır.

Yaşanan afetlerden sonra insanların barınma ve sosyal yaşam alanlarını kaybetmesi hem afetin olumsuz etkilerini artırmakta hem de yaşama dönüş sürecini zorlaştırmaktadır [4]. Bu durumda geçici barınma alanları önem kazanmakla birlikte kalıcı yapma çevre oluşturmanın uzun sürdüğü durumlar da göz önünde bulundurulmalıdır. Sadece kullanıcıların günlük faaliyetlerini karşılayacağı değil [3], aynı zamanda geçici birimlerin 6 aydan 3 yıla; geçiş birimlerinin ise 3 yıldan 10 yıla kadar kullanılabileceği [5] düşünülmelidir.

Barınma ve korunma ihtiyacı afetlerden sonra insanların normal hayatlarına dönmeleri sürecinde önemli bir etkidir; fakat geçici barınma alanları da olsa uzun süreli kullanımlarda sürdürülebilir sonuçlar sağlayacak stratejik tasarım eksikliklerinden kaynaklanan problemler ortaya çıkmaktadır [6]. Afet sonrası süreçle mücadelede yeni sistemler geliştirirken, yapı yaşam döngüsü çerçevesinde tasarım yaklaşımlarını değiştirecek olan iklim krizi de ele alınmalıdır. İnsan, eylemleri ile içinde yaşadığı çevreyi etkilemekte olup bu çevrenin ve kendisi dışındaki çevre sistemlerin özelliklerini değiştirebilmektedir [1] ve insanların yaşamını sürdürme çabasıyla gerçekleştirdiği yapma çevreye ilişkin eylemler çoğunlukla doğayı ve dolayısıyla kullanıcıyı olumsuz etkilemektedir [7].

İklim değişikliği artık gelecekteki bir sorundan ziyade şu an yüzleşilmesi gereken ve olumsuz etkilerinin hissedildiği bir durum haline gelmiştir. İklim değişikliğinin ana sebebi kömür, petrol ve gaz gibi fosil yakıtların yakılması ile sera gazı emisyonlarının artmasıdır [8] ve inşaat sektörü, küresel CO<sup>2</sup> gaz emisyonlarının tahmini yüzde 37'sini temsil etmektedir [9]. TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) 2023 verilerine göre [10] ülkemizde sera gazı emisyonları (CO<sup>2</sup> eşdeğeri cinsinden) 2021 için son 10 yılda %31,68 oranında artmıştır. Bir yapının tasarım, inşa, kullanım ve yıkım olmak üzere tüm süreçlerinde kirliliği en aza indirmek, enerji etkinliğini artırmak, sera gazı salınımını azaltmak, yerel ve yenilebilir malzemeler kullanmak iklim kriziyle mücadelede önemli adımlardır. Sıfır karbon yaklaşımının yapılaşmada farklı seviyeleri bulunmaktadır. Enerji etkin binalar, düşük karbon binalar, neredeyse sıfır karbon binalar, net sıfır karbon binalar, sıfır karbon binalar, karbon-negatif binalar, yaşam döngüsü sıfır karbon binalar şeklinde sıralanabilir [9].

Afet sonrası geçici barınma üzerine literatürde mekân ve alan yetersizliği, güvenlik, yalıtım, mahremiyet, taşıma, kurulum, söküm, servis ömrü ve tekrar kullanılabilirlik [11], temel altyapı yetersizliği [12] ile ilgili çalışmalar olduğu görülmektedir. Bu çalışmaların yanı sıra hızlı hareket

etmenin gerekliliği ile malzeme ve yapım sistemi araştırmaları [13] ve önerileri [14] yapılmış olup, malzeme seçiminde ekolojik yaklaşımlar [6, 15] da ele alınmaktadır. Bu çalışmayla literatürde var olan bilgilerden yola çıkılarak afet sonrası geçici barınma birimleri oluştururken düşük karbon yaklaşımına yönelik alternatif önerilerin sayısal verilerle desteklenmesi amaçlanmaktadır.

## **2. AFET SONRASI GEÇİCİ BARINMA BİRİMİNİN KARBON SIFIR YAKLAşIMI KAPSAMINDA ELE ALINMASI**

Afet sonrası geçici barınma birimlerinin ve alanlarının tasarımı yapılırken kaç kişinin yaşayacağı, bu barınakların ne amaçla inşa edileceği, yapım sırasında hangi malzemeler ve yöntemler kullanılacağı sorularının cevaplanması gerekmektedir [16]. Çalışmanın kapsamı afet sonrası rehabilitasyon aşaması için uzun süreli kullanılabilircek yaşam birimlerini kapsamaktadır. On yıla kadar kullanılabilirceği bilinen bu barınakların ürün seçimi ve tasarımı enerji verimliliği açısından düşük karbon özelliklerine göre ele alınmış ve bu kapsamda değerlendirilmiştir.

### **2.1. Yöntem**

Çalışma literatür taraması ve simülasyon analizi olarak tasarlanmıştır. Literatür araştırmasında afet sonrası geçici barınma birimlerinin özellikleri, gereksinimleri ve geğmişten günümüze yapılan çalışmalar; düşük karbon ve enerji verimliliği yaklaşımı ve her iki disiplinin birlikte değerlendirildiği tasarım yaklaşımları irdelenmiştir.

Yapı tasarımının bir gerekliliği olarak çevresel ve sosyal koşulların tanımlanabilmesi için gündemde olan bir senaryo üzerinden ölçümleri yapılacak afet sonrası geçici barınma biriminin oluşturulmasında ele alınacak parametreler belirlenmiştir. Elde edilen veriler üzerinden bir modül tasarlanmış; DesignBuilder programında modellenerek ölçümler yapılmıştır. Tahmini gömülü ve eşdeğer karbon verileri DesignBuilder tarafından Bath ICE (Bath Inventory of Carbon and Energy) ve diğer veri kaynaklarından elde edilmiştir. Aydınlatma ve HVAC ekipmanı gibi bina hizmetleriyle ilişkili gömülü karbon ölçümleri bu sonuçlarda yer almamakta olup; karbon verileri yalnızca yapı malzemeleri (duvar, döşeme ve çatı ürünleri ve camlar) üzerinden hesaplanmıştır.

### **2.2. Parametrelerin Tanımlanması**

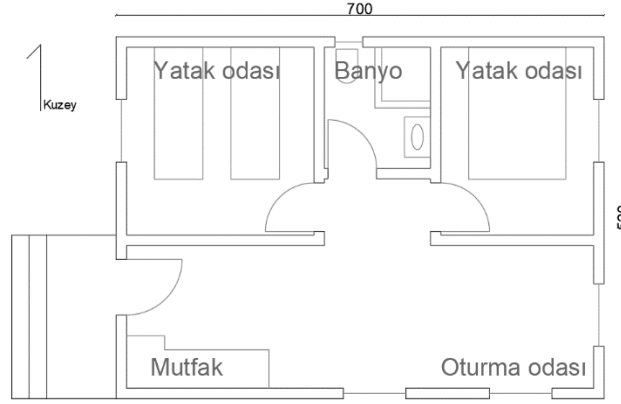
İstanbul Planlama Ajansı (IPA), Marmara Denizi'nde Kuzey Anadolu Fay Hattı üzerinde, İstanbul yakınlarında yıkıcı bir depremin meydana gelmesinin ve 2019'da yapılan tespit çalışmalarına göre bu depremde 250 bin binanın hasar almasının beklendiğini belirtmektedir [17]. Beklenmekte olan bu afetin yıkıcı etkisi literatürde birçok çalışmaya bağlam oluşturmaktadır. Bu çalışmada da ölçümleri yapılacak afet sonrası geçici barınma birimi, Marmara Bölgesi'nde bir deprem meydana gelmesi senaryosu göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır.

Geçici barınma birimlerinin boyutları bölgedeki nüfus yoğunluğu ve hane halkı sayısına göre belirlenmiştir. TÜİK'in 2023 verilerine göre Türkiye'de tüm illerin hane halkı ortalaması 3,1 ve Marmara Bölgesi hane halkı ortalaması ise 2,9'dur [18]. Bu bilgiler doğrultusunda birimlerin büyüklüğu 3 ile 4 kişinin uygun koşullarda barınabileceği minimum ölçülerde tasarlanmıştır.

Birimde kullanılan ürünlerin ortak özellikleri olarak geçici barınmanın hızlı sağlanabilmesinin gerektirdiği üzere ön yapımlı olması ve kolay monte edilebilir olması tercih edilmiştir. Malzeme seçimleri ise kolay ulaşılabilir olması, maliyeti, karbon ayak izinin düşük olması, yalıtım değerlerinin iklim koşullarına uygunluğu üzerinden çeşitlendirilmiştir.

### 2.3. Modül Geliştirilmesi ve Ürün Seçimi

Temel ihtiyaçlarını karşılayabilecek ve çevresel koşullara uyum sağlayabilecek şekilde barınma hakkı insanların temel haklarından. Geçici barınma biriminin tasarımında hem kullanıcının gereksinimlerine hem de arazi kullanımına uygunluk göz önünde bulundurularak asgari koşullarda bir modül tasarımı gerçekleştirilmiştir (**Şekil 1**).



**Şekil 1:** Geçici barınma biriminin plan taslağı

Modül 4 veya daha fazla kişinin (ref. Bölüm 2.1) yaşayabileceği, kullanıcıların temel ihtiyaçlarını birim içerisinde karşılayabilecekleri, doğal aydınlatma ve havalandırmaya uygun, çevresel koşullar kesin olmadığından belirli bir subasman seviyesinin üzerinde ve literatürde belirlenmiş minimum değerler [19] dikkate alınarak tasarlanmıştır.

40 m<sup>2</sup> taban alanına ve yaklaşık 30 m<sup>2</sup> net alana sahip olan modülde farklılaşan çevresel koşullara uygun olması adına empenye edilmiş ahşap kaplamalı kırma çatı tercih edilmiştir. Banyoda 40\*40, diğer birimlerde 90\*120 çift camlı pencereler, girişte 80\*210 ve iç mekanlarda 70\*210 kapılar kullanılmıştır. İç duvarlarda arada boşluk kalacak şekilde MDF (medium-density fibreboard) paneller kullanılmıştır. Çatıda ahşap kaplama tercih edilmesinin sebebi alternatifi olan ve barınaklarda sıklıkla tercih edilen metal kaplamaların karbon ayak izinin yüksek olmasıdır. IEA (International Energy Agency) [20], yapılarda kullanılan beton, çelik ve alüminyum üretiminden kaynaklanan emisyonların, küresel emisyonların yüzde 6'sını oluşturduğunu belirtmektedir.

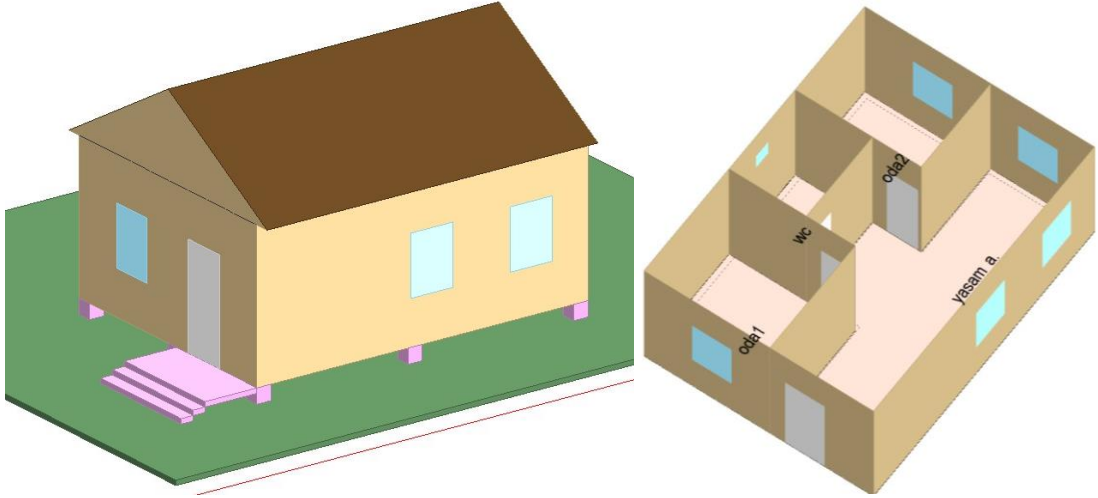
Çatıda ve duvarlarda ısı yalıtımı kullanılarak enerji tüketimi azaltılmak istenmiştir. UNHCR (United Nations High Commissioner for Refugees) [19], barınak tasarımında iç mekânda ısı konforu sağlamada çatı tasarımının önemini vurgulamaktadır. Çatı kaplama katmanları oluşturulurken ısı yalıtımı için 6 cm cam yünü tercih edilmiştir. Duvar hariç tüm ürünler kolay ulaşılabilir olması, yalıtım değerleri, enerji verimliliği ve CO<sup>2</sup> salınımları göz önünde bulundurularak seçilmiş ve ölçümler süresince sabit tutulmuştur. Duvar katman ve malzemelerinin

ise gövde ve yalıtım malzemeleri ve malzeme boyutları çeşitlendirilerek kıyaslanması amaçlanmıştır.

## 2.4. Simülasyon

DesignBuilder enerji, maliyet ve gün ışığı gibi performansların test edilebildiği, tasarım alternatiflerinin çeşitli çıktılarıyla karşılaştırılabildiği bir grafiksel kullanıcı ara yüzüdür [21] ve EnergyPlus simülasyon motorunu program bünyesinde direkt kullanarak verileri analiz eder. Tasarım aşamasında karşılaştırmalı verilerin yorumlanması imalat ve kullanım öncesinde kullanıcıya bir rehber oluşturur.

Çalışmada DesignBuilder simülasyon programında modellenen modül (Şekil 2, 3) CO<sup>2</sup> emisyonları ve ısı geçirgenlik katsayıları üzerinden karşılaştırmalı şekilde değerlendirilmiştir. Plan taslağı üzerinden modellenen birimde yapı ürünleri tanımlanmış; dış duvar hariç tüm ürünler ölçümler boyunca sabit tutulmuştur. Model hazırlanırken ısıtma, soğutma, sıcak su gibi mekanik tesisat için elektrik enerjisi kullanılacağı belirtilmiş olup sabit tefrişler eklenmiştir; fakat aydınlatma elemanları kapsama dahil edilmemiştir.



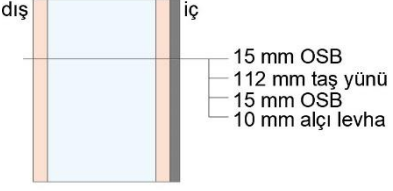
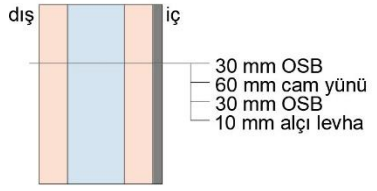
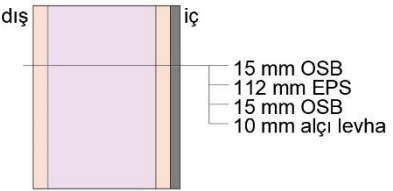
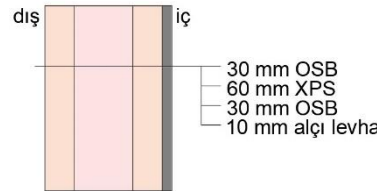
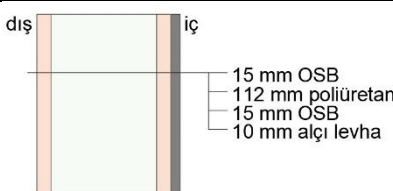
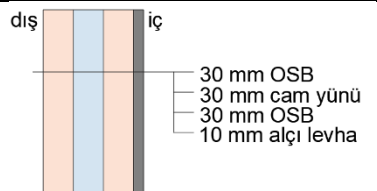
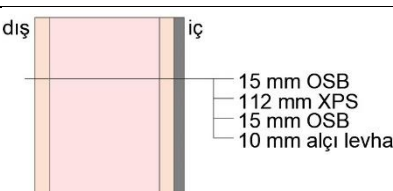
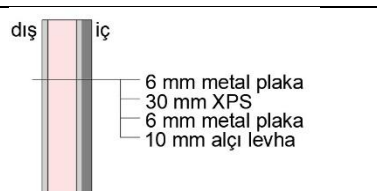
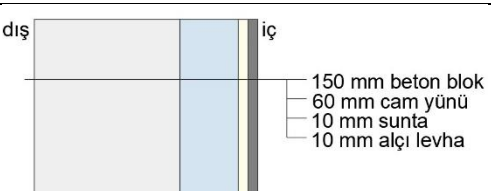
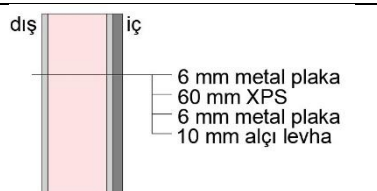
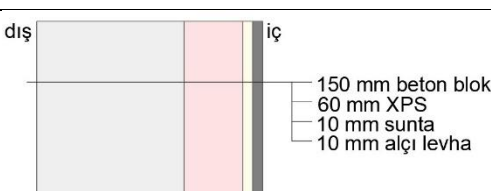
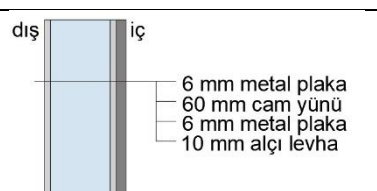
Şekil 2: Geçici barınma biriminin modellenmesi

Şekil 3: Geçici barınma biriminin iç mekânları

Ölçümler sonucunda gömülü karbon ve eşdeğer karbon olmak üzere iki ayrı veri ile ısı geçirgenlik katsayısı (U değeri) elde edilmiştir. Eşdeğer karbon, gömülü karbona benzer; aynı zamanda malzemenin üretiminde yer alan işlemlerden dolayı yayılan aynı miktarda küresel ısınmaya neden olacak diğer sera gazlarının (kükürt dioksit, metan vb.) etkilerini de içerir.

Duvar katmanlarında gövde için OSB (yönlendirilmiş yonga levha), trapez sac, prekast beton bloklar; yalıtım için taş yünü, cam yünü, EPS (polistiren), XPS (ekstrüde polistiren) ve poliüretan köpük kullanılarak farklı kombinasyonlarda ölçümler gerçekleştirilmiştir (Çizelge 1). Gömülü karbon ölçümlerinden elde edilen ilk sonuçlar sonrasında ürünlerin kalınlıkları değiştirilerek ısı geçirgenlik katsayıları için de uygun değer elde edilmeye çalışılmıştır.

Çizelge 1: Simülasyonda kullanılan duvar katmanları

Kod	Duvar Katmanları	Kod	Duvar Katmanları
<b>W1</b>	 <p>15 mm OSB 112 mm taş yünü 15 mm OSB 10 mm alçı levha</p>	<b>W3</b>	 <p>30 mm OSB 60 mm cam yünü 30 mm OSB 10 mm alçı levha</p>
<b>W1.1</b>	 <p>15 mm OSB 112 mm EPS 15 mm OSB 10 mm alçı levha</p>	<b>W3.1</b>	 <p>30 mm OSB 60 mm XPS 30 mm OSB 10 mm alçı levha</p>
<b>W1.2</b>	 <p>15 mm OSB 112 mm poliüretan 15 mm OSB 10 mm alçı levha</p>	<b>W4</b>	 <p>30 mm OSB 30 mm cam yünü 30 mm OSB 10 mm alçı levha</p>
<b>W1.3</b>	 <p>15 mm OSB 112 mm XPS 15 mm OSB 10 mm alçı levha</p>	<b>W5</b>	 <p>6 mm metal plaka 30 mm XPS 6 mm metal plaka 10 mm alçı levha</p>
<b>W2</b>	 <p>150 mm beton blok 60 mm cam yünü 10 mm sunta 10 mm alçı levha</p>	<b>W6</b>	 <p>6 mm metal plaka 60 mm XPS 6 mm metal plaka 10 mm alçı levha</p>
<b>W2.1</b>	 <p>150 mm beton blok 60 mm XPS 10 mm sunta 10 mm alçı levha</p>	<b>W6.1</b>	 <p>6 mm metal plaka 60 mm cam yünü 6 mm metal plaka 10 mm alçı levha</p>

## 2.5. Bulgular

Yapılan simülasyon sonucunda 12 farklı duvar tipine göre elde edilen veriler en düşük gömülü karbon hesabına göre sıralanarak **Çizelge 2**'de gösterilmiştir. Programdan elde edilen raporlarda tüm yapının gömülü karbon hesapları eşdeğer CO<sup>2</sup> olarak kgCO<sup>2</sup> cinsinden verilmiştir.

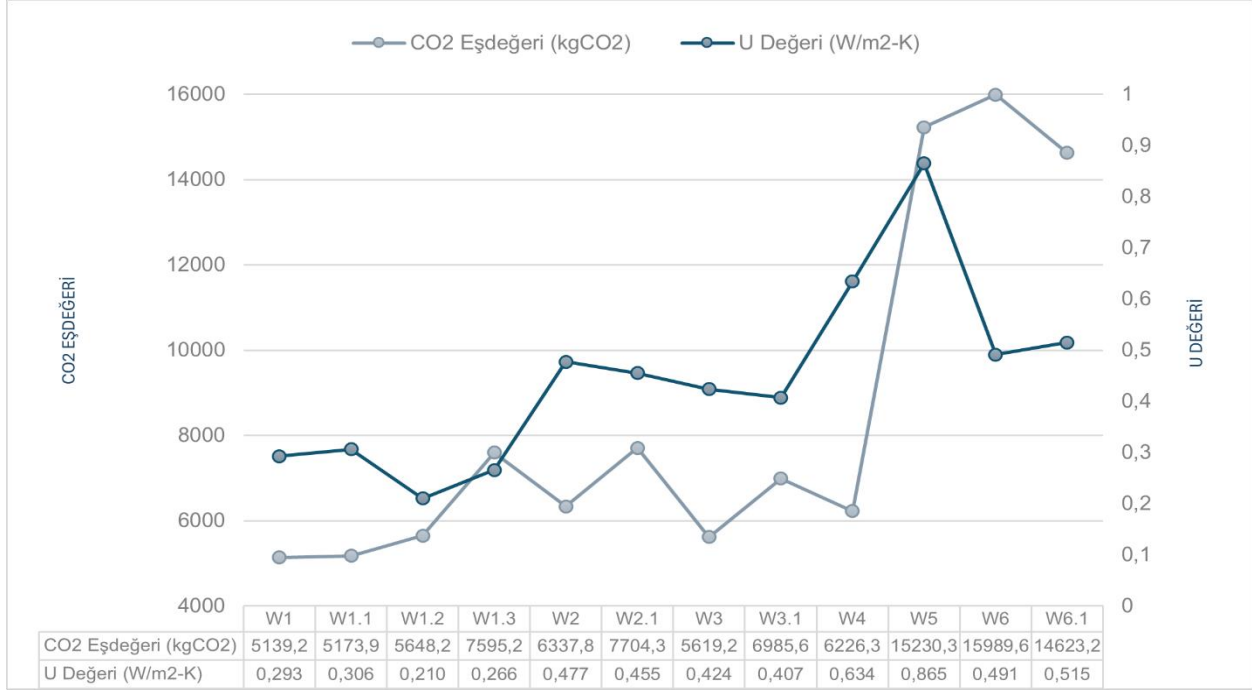
Verilere göre, W1 örneği en az gömülü karbona sahipken, metal plaka kullanılan tüm alternatifler (W6.1, W5, W6,) en yüksek gömülü karbona sahip olmuştur. W1, W1.1, W3, W1.2 alternatiflerinde taşıyıcı niteliğe sahip ahşap paneller (SIP, structural insulated panels) değerlendirilmiş olup W1 ve W1.1 örneklerinde aynı kalınlıktaki taş yünü ve EPS kullanımı arasında taş yünü daha iyi performans göstermiştir. W1.2 ve W1.3 örneklerinde ise yalıtım malzemesi olarak poliüretan kullanılması XPS kullanımına göre gömülü karbon hesabı açısından daha olumludur. W6 ve W6.1 örneklerinde aynı kalınlıktaki XPS ve cam yünü gömülü karbon açısından W6.1, ısı geçirgenlik açısından W6 daha etkin performans göstermişlerdir. W2 ve W2.1 örneklerinde ise aynı kalınlıkta cam yünü ve XPS kullanımında cam yünü gömülü karbon hesabında daha iyi sonuç vermiştir.

**Çizelge 2:** Alternatiflere ilişkin simülasyon verileri

Kod	Duvar Katmanları	CO <sup>2</sup> Eşdeğeri (kgCO <sup>2</sup> )	Isıl Geçirgenlik Katsayısı (U Değeri)
W1	15 mm OSB+112 mm taş yünü+15 mm OSB+10 mm alçı levha	5139,2	0,293
W1.1	15 mm OSB +112 mm EPS+15 mm OSB+10 mm alçı levha	5173,9	0,306
W3	30 mm OSB+60 mm cam yünü+30 mm OSB+10 mm alçı levha	5619,2	0,424
W1.2	15 mm OSB+112 mm poliüretan+15 mm OSB+10 mm alçı levha	5648,2	0,210
W4	30 mm OSB+30 mm XPS+30 mm OSB+10 mm alçı levha	6226,3	0,634
W2	150 mm beton blok +60 mm cam yünü +10 mm sunta+10 mm alçı levha	6337,8	0,477
W3.1	30 mm OSB+60 mm XPS+30 mm OSB+10 mm alçı levha	6985,6	0,407
W2.1	150 mm beton blok+60 mm XPS+10 mm sunta+10 mm alçı levha	7704,3	0,455
W1.3	15 mm OSB+112 mm XPS+15 mm OSB+10 mm alçı levha	7595,2	0,266
W6.1	6 mm metal plaka+60 mm cam yünü+6 mm metal plaka+10 mm alçı levha	14623,2	0,515
W5	6 mm metal plaka+30 mm XPS+6 mm metal plaka+10 mm alçı levha	15230,3	0,865
W6	6 mm metal plaka+60 mm XPS+6 mm metal plaka+10 mm alçı levha	15989,6	0,491

Duvar katmanlarının ısı geçirgenlik katsayıları (U değerleri) program üzerinden elde edilmiş (**Çizelge 2**); yalıtım kalınlıklarının fazla tercih edildiği seçeneklerde daha iyi sonuçlar alındığı gözlemlenmiştir. Yalıtım malzemeleri kıyaslandığında performans sıralaması taş yünü, EPS, cam yünü, XPS olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3: Karşılaştırmalı simülasyon verileri



### 3. SONUÇLAR

Afet sonrası barınma birimi tasarımı literatürde farklı açılardan ele alınırken bu çalışmada iklim krizi göz önünde bulundurulmuştur. Sera gazı emisyonları iklim değişikliğinde en önemli faktörlerden biridir. Yapı sektörünün bu duruma etkisi düşünülerek afet sonrası barınma birimlerinde sıfır karbon yaklaşımı esas alınarak tasarımların gömülü karbonları ölçülmeye çalışılmıştır.

Bu kapsamda öncelikle çalışma alanı, modül ölçüleri ve yapı malzemeleri gibi parametrelere karar verilmiş olup DesignBuilder simülasyon programında gömülü karbon hesabı analizi gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen bulgulara göre alışlagelmiş konteyner yapılardan yola çıkılarak seçilen metal paneller en yüksek gömülü karbona sahip olurken strüktürel ahşap paneller (SIP, structural insulated panels) en düşük gömülü karbona sahip olmuştur. Yalıtım malzemelerinde ise gömülü karbon açısından en iyi sonuçlar taş yünü, EPS, cam yünü, poliüretan ve XPS olarak sıralanmıştır. Bu kapsamda geçici barınma birimleri tasarımında tüm seçenekler arasında hem düşük karbon hem de ısı geçirgenlik açısından en iyi değerlerden birine sahip olması sebebiyle W1 (15 mm OSB + 112 mm taş yünü + 15 mm OSB + 10 mm hava boşluğu+10 mm alçı levha) en başarılı alternatif olarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın amaçlarından olan sıfır karbon yaklaşımına uygun yapı tasarımına göre veriler ele alındığında önerilen alternatiflerde net sıfır sonuçlar elde edilememiş olup, öneri seçimi düşük karbon ilkesine göre tamamlanmıştır.

Bu bağlamda genel olarak yapı tasarımında ele alınması gereken konulardan biri düşük karbon emisyonu olmalı ve literatürde daha kapsamlı çalışmalar ortaya konulmalıdır. Böylece sürdürülebilir malzemeler ve konstrüksiyonlar seçerek sera gazı salınımı etkilerinin azaltılması sağlanarak iklim kriziyle mücadelede önemli bir yol kat edilmiş olacaktır.



## KAYNAKLAR

1. A. Balanlı, A. Öztürk, “Yapı Biyolojisi Yaklaşımlar”, Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Yayınları, (2006).
2. A. Balanlı, “Yapıda Ürün Seçimi”, Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Yayınları, (1997).
3. Y. Song, N. Mithraratne, H. Zhang, “Life-time performance of post-disaster temporary housing: A case study in Nanjing”, *Energy and Buildings*, 128, (2016), pp: 394-404.
4. F. B. Abanoz, N. Vural, “Dünyada ve Türkiye’de Kullanılan Geçici Afet Konutlarının Karşılaştırmalı Analizi ve Model Önerisi, Eksen Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dergisi, 4(1), (2023), pp: 132-153.
5. IFRC, “Post-disaster shelter: Ten designs”, International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Geneva, (2013).
6. C. Johnson, “Strategies for the Reuse of Temporary Housing”, *Urban transformation*, Ruby Press, Berlin, (2008), pp. 323-331.
7. P. Darçın, “Rejeneratif Yapma Çevre Kavramının Sistemleştirilmesi”, 1. Yapı ve Tasarım Buluşmaları Ulusal Konferansı, İstanbul, (2019).
8. <https://www.un.org/en/global-issues/climate-change>
9. United Nations Environment Programme, “2022 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero emission”, *Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector*, Nairobi, (2022).
10. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2021-49672>
11. S. Yılmaz, “Afet Sonrası Geçici Barınmanın Çevresel, Ekonomik ve Sosyal Sürdürülebilirliğinin Değerlendirilmesi”, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*, (2021).
12. M. Şengül, M. Turan, “Erciş Depremi Örneğinde Afet Sonrası Geçici Yerleşim Alanlarında Yönetim Uygulamaları ve Sorunları”, *Mülkiye*, 274, (2012), pp: 113-148.
13. E. Dadaş, Z.Y. İlerisoy, “Afet Sonrası Geçici Barınma Birimlerinde Güncel Mimari Tasarım ve Yapım Tekniklerinin Değerlendirilmesi, IDRC International Disaster & Resilience Congress, (2019), pp: 794-798.
14. E. Avlar, S. Limoncu, D. Tizman, (2022). Post-earthquake temporary housing unit: CLT E-BOX. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38(1), (2022), pp: 471-482.
15. C. Balukel, “Deprem sonrası barınma çözümleri için literatür ne diyor?”, *TEPAV Türkiye Ekonomi Politikaları Araştırma Vakfı*, (2023). <https://www.tepav.org.tr/tr/haberler/s/10561>.
16. IFRC, “Nigeria Floods 2012”, International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Geneva, (2013).
17. İstanbul Planlama Ajansı (IPA), “İstanbul Deprem Çalıştayı”, BİMTAŞ Kooperasyon ve İletişim Şefliği, İstanbul, (2019).
18. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2023-49684>
19. UNHCR, “Handbook for Emergencies”, United Nations High Commissioner for Refugees, Third Edition February, Geneva, (2007).
20. IEA, “World Energy Outlook”, International Energy Agency, (2022).
21. <https://designbuilder.co.uk/software/product-overview>

# **BİYOMİMİKİRİ ARACILIYLA ENERJİ ETKİN YAPI TASARIMI: DOĞAL AYDINLATMA TEMALİ YAPI TASARIM ÖNERİSİNİN İNCELENMESİ**

Tuğba Temurtaş<sup>1</sup>  
Ümit Turgay Arpacıoğlu<sup>2</sup>  
MSGSU Mimarlık Fakültesi  
Fındıklı Yerleşkesi, Beyoğlu, İstanbul, 34427

## **ÖZET**

*Yaşam döngüsü boyunca enerji tüketen yapılar için enerjiyi etkin bir şekilde kullanmak, enerji kaynaklarının korunumu ve sürdürülebilirliği açısından önemli bir rol oynamaktadır. Dolayısıyla iklim, rüzgâr, yapı yönü gibi değişken bilgiler aracılığıyla enerjinin etkin ve verimli bir şekilde kullanılmasını amaçlayan enerji etkin tasarımların rolü ön plana çıkmaktadır. Enerji etkin bir yapı aktif ve pasif sistemlerden yararlanarak hava sirkülasyonu, ısınma/soğuma ve doğal aydınlatma ile yapının performansını yükseltmeye çalışmaktadır. Yapının konfor şartlarına uyum sağlamak açısından ışık, hava ve su/nem özelliklerini dengeleme çevresinde şekillenen enerji etkin tasarım bu bağlamda doğada hayatta kalmaya çalışan canlılarda görülen uyum sağlama ve ısı gibi iç dengelerini çevre koşullarına uyarlanıyor olması ile bağdaştırılabilmektedir[1]. Bu kapsamda çalışma, enerji etkin bina tasarımı hedefiyle Biyomimikri yaklaşımı bağlamında yapılan önerileri ve önerilecek bir konsept projenin tanıtılmasını kapsamaktadır. Tasarım çeşitli Biyomimikri prensiplerinin belirlenmesinin ardından adaptif bir cephe/kabuk tasarımı oluşturmayı amaçlamaktadır.*

*Anahtar sözcükler: Enerji Etkin, Biyomimikri, Gün Işığı.*

## **ABSTRACT**

*Nowadays, efficiently using energy has become crucial for building structures. In this context, the evolving concept focuses on maximizing energy usage effectiveness, known as "energy-efficient design.". Energy-efficient designs utilize variable information such as climate and wind direction to enhance performance. These designs balance light, air, and water/humidity to create comfortable environments. Like how living organisms adapt to survive, energy-efficient buildings adjust to environmental conditions [1]. This study explores Biomimicry principles for energy-efficient building design and introduces a conceptual Project.*

*Key words: Energy Efficient Building Design, Biomimicry, Day Light.*

<sup>1</sup> e-posta adresi: 20222101044@ogr.msgsu.edu.tr

<sup>2</sup> e-posta adresi: umit.arpacioglu@msgsu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Yapı sektörü günümüzdeki durumunda var olan enerji kaynaklarının birçoğunu yoğun olarak kullanmaktadır. Kullanılan kaynakların çoğunluğunun fosil kaynaklardan elde edilmesi ve sera gazı salınımını arttırması sebebiyle kaynakların tükenmesine ve çeşitli çevre kirliliklerinin oluşmasına sebebiyet vermektedir. Oluşan bu tehlikenin ardından başta gelişmiş ülkeler olmak üzere birçok ülke enerjinin verimli kullanılması için araştırmalar yapmış ve enerji verimli yapıların oluşmasına yardımcı olmuştur [2].

Enerji etkin bir tasarımın temel amacı, oluşturulan yapı içerisinde kullanılan enerjiyi minimuma düşürerek konfor şartlarını sağlamaya çalışmaktır [3]. Enerji etkin bir yapı oluştururken dikkat edilmesi gereken çeşitli özelliklerinin yanında yararlanılabilecek farklı tasarım algıları da bulunmaktadır. Bunlardan birisi de bir bilim dalı olarak anılan Biyomimikri olduğu savunabilmektedir. Biyomimikri farklı seviyelerde ve şekillerde doğayı dolaylı yoldan ilham almak olarak bilinmektedir. Biyomimikri kullanılarak yapılan tasarımlardan birçoğu aynı zamanda enerjiyi verimli kullanmayı amaçlayarak yapılan tasarımlardır [4]. Bu çalışma kapsamında enerji etkin tasarım ile Biyomimikri kavramları ve ilişkisi örnekler üzerinden irdelenecek, önerilen tasarımların enerji etkinliği değerlendirilecektir. Ardından bu iki konuyu kullanarak doğal ışığın kullanılmasını maksimize etmeyi amaçlayan bir tasarım önerisi incelenecektir.

## 2. BİYOMİMİKİRİ ESASLI ENERJİ ETKİN YAPI TASARIMI

### 2.1. Enerji Etkin ve Biyomimikri Genel Tanımı

Yapıların konfor gereksinimlerini karşılamak amacıyla ısıtma, soğutma ve havalandırma özelliklerini dengelemek için yüksek miktarda enerji kullanılmaktadır. Oluşan bu yükün azaltılması ve daha ekonomik hale getirilme kaygısı ise tasarım algılarının yeniden oluşmasına neden olmuştur. Bu kısımda devreye giren enerji etkin yapı tasarım kavramı, yapı ve yapı grupları için pasif sistemlerin kullanımını arttırarak enerji yükünü azaltma ve konfor aralıklarının sağlanması için minimum enerji kullanımını amaçlayan tasarımlar olarak ön plana çıkmaktadır. Enerji etkin bir tasarım oluşturulurken yapının konumu, yönelimi, formu ve yapı kabuğu gibi yapının bulduğu bölgeye göre çeşitlenen temel parametrelere dikkat edilmektedir [3].

Yapılacak olan tasarım enerji etkin bir biçime getirilirken;

- Tasarımın fiziksel çevre şartlarına uygun hale getirilmesi
- Rüzgâr gibi dış etkenlerin uygun biçimde tasarım içerisinde kullanılması
- Güneş gibi pasif enerji kaynaklarını maksimum verimli düzeyde kullanması
- Yenilenebilir, sürdürülebilir enerji kaynaklarına öncelik verilmesi
- Uzun ömürlü ve enerji korunumunu sağlayabilen malzeme kullanımına öncelik verilmesi
- Tasarımın kullanım boyunca kullanacağı enerji gözetilerek tasarımın oluşturulması

amaçlanmaktadır [1].

Tasarım Amaçları doğrultusunda ise enerji etkin tasarımın bir sonraki aşaması olan kriterler bulunmaktadır [5], [6]. Bunlar;

- Yapının konumu, yerleşimi ve yönelimi

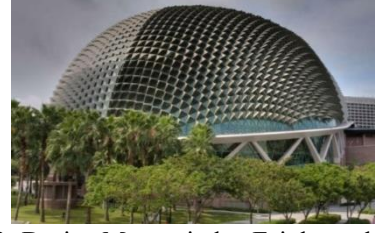
- Güneş ve rüzgâr gibi pasif enerji kaynaklarının maksimize edilmesi
- Topografya uyumluluğu (ör. yüksek bir arazinin tepe noksanında bulunan yapı, yamacın doğru yerlerine yerleştiren yapıya oranla kış rüzgarlarına karşı savunmasızdır.; ör. 2 topografyada ani değişimler gösteren yüzeyler yüksek hızlı rüzgarların oluşmasına sebebiyet verebilmektedir.)
- İklim, yapı formu ve yapı kabuğu
- Yapı aralıkları (iklim koşullarına göre güneş ve rüzgâr kullanımını arttırabilir veya azaltabilmektedir.)
- Mekân organizasyonu dengeli şekilde yapılması ve yaşam alanları ile dış mekân sıcaklığı arasında olan tampon bölgeler oluşturulması.
- Uygun havalandırma sirkülasyonunun sağlanması
- Uygun malzeme seçimi

Diğer bir yandan enerji etkin bir yapı oluştururken Biyomimikri 'den de faydalanılabilmektedir. Bios (yaşam) ve mimikos (taklit) kelimelerinin birleşiminden oluşan ve bir bilim dalı olan Biyomimikri birçok farklı araştırmacı tarafından araştırılmış ve literatüre katılmıştır. Biyomimikri doğada olan formları, süreçleri, sistem ve stratejileri örnek alarak insan problemlerine çözüm sunmaktadır. Ancak yaşam ve taklit kelimelerinden oluşan Biyomimikri doğayı doğrudan bir taklit değil, var olan süreçlerin özgün bir şekilde tasarıma yansıtılması ile oluşmaktadır [4], [7] Biyomimikri ayrıca doğayı analiz ederek ve gözlemleyerek anlaşılan problem ve çözümlerini, var olan insan kaynaklı problemlerin çözümünde ilham kaynağı olarak kullanılması ile tanımlanabilmektedir [8]. Biyomimikri kavramı literatüre katılmadan önce de bilerek veya bilmeden birçok tasarımcıya rol model olmuştur. İnsanların barınma ihtiyacı beraberinde doğada bulunan form ve strüktürü gözlemleyerek kendilerine bir çatı altında yaşam yerleri oluşturmalarının, Biyomimikri' nin mimari alanda temellerini oluşturduğu düşünülmektedir. Avcılık ve toplayıcılık ile yaşamını sürdüren göçebe toplumlarda kuş yuvasından örnekle oluşturdukları çadır tipi yerleşimler bu kullanıma örnek verilebilmektedir [9]. Kavramsal anlamının dışında Biyomimikri doğada yer alan oluşumları organizma, davranış ve ekosistem olmak üzere farklı düzeylerde örnek almaktadır. Bu algı ile oluşturulan tasarım sürecinde, yukarıdan-aşağı ve aşağıdan-yukarı olarak tanımlanan iki ayrı yaklaşımı vardır. Yukarıdan aşağı tasarım yaklaşımında tasarımcı, tasarımında var olan problem için doğayı örnek almakta ve benzer bir sorunu ve çözümünü arayarak bunu tasarımına uyarlamaktadır. Aşağıdan yukarı olan tasarım anlayışında ise tasarımcı öncelikle doğada var olan sorunları ve bunların çözümlerini incelemekte ve bu sorunlara benzer tasarım sorununu bularak tasarımı geliştirmektedir [10].

Esplanade Tiyatrosu Singapur'da 2002 yılında yapılmış bir tiyatro alanıdır (**Şekil 2**). Bu yapı Biyomimikri kullanılarak yapılmış ve ilkim değişikliğine karşı tasarlanmış olan çatı kaplamasına sahiptir. Durian meyvesinin (**Şekil 1**) özelliklerinin gözlemlenmesi ile yapılmış olan bu yapı, hava sıcaklığı 25 dereceden fazla olduğu durumlarda cephesine yerleştirilmiş olan panellerin açılmasıyla birlikte aşırı ısınmayı engellemektedir [10], [11]. Özetle Biyomimikri tasarımcıya birçok yönden rol model olan doğanın, tasarım yaparken de kullanılmasının sonucu oluşmakta ve tasarım problemleri için alternatif bir çözüm aracıdır.



Şekil 1: Durian Meyvesi [12]

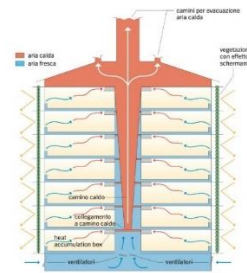


Şekil 2: Durian Meyvesinden Esinlenerek Yapılan Esplane Tiyatro Binası [13]

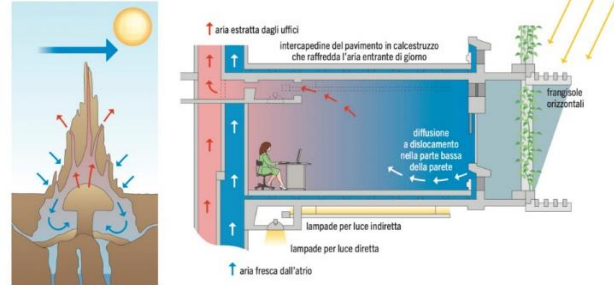
En bilinen örneklerden biri olan Eastgate (Şekil 3) Center enerjinin verimli bir şekilde kullanılmasında Biyomimikri' nin kullanıldığı önemli örneklerden biridir. Zimbabve'de yer alan bu alışveriş merkezi, tasarımının bulunduğu ekolojik çevreye duyarlılığı ve adaptasyonu ile ön plana çıkmaktadır. Tasarımcısı Mick Pearce, herhangi bir ısıtma ve soğutma kullanmadan yapının iç konforunu sağlamayı amaçlamıştır. Tasarımcı bu amaç için Afrika Termitlerinin kulelerinde kendiliğinden olan havalandırma sistemini örnek almıştır (Şekil 4-5). Eastgate Center afrika termitlerinin yuvası örnek alınarak yapılan tasarımı aracılığıyla yapı içerisinde kullanılan ısıtma ve soğutma zaiyatı azaltılmıştır (Şekil 8) [14].



Şekil 3: Eastgate Center [15]



Şekil 4: Eastgate Center hava sirkülasyonu [16]



Şekil 5: Eastgate Center Hava Sirkülasyonu Çalışma Prensibi ve İlham Kaynağı [16]

Var olan örneklerden de görülebileceği gibi tasarımda Biyomimikri' nin kullanımı enerji kullanımını azaltmakta ve sürdürülebilir tasarım seçenekleri oluşturmaktadır. Bu yönde enerji etkin bir yapı tasarlanırken Biyomimikri' nin kullanımı bu iki örnek ile desteklenebilmektedir. Gelecek bölümde bunun ispatı amacıyla yapılan öneri tasarımları ve yapmış oldukları analiz değerlendirmeleri incelenecektir.

## 2.2. Enerji Etkin Tasarım ile Biyomimikri' nin Kullanılması Üzerine Öneri Tasarımlar ve Değerlendirmeleri

Bu kısımda Biyomimikri ve enerji etkin kavramlarının bir arada ele alınmasıyla oluşturulan tasarım önerileri ve analizleri incelenecek olup Biyomimikri' nin enerji verimliliği bazında katkıları irdelenecektir. Daha sonraki bölümde ise bu kısımdaki örneklerin sonuçlarından da hareketle bir

konsept tasarım önerisi oluşturulacaktır. Tasarım önerilerinin işleyişi ve analiz etmek için kullanılan programlara aşağıdaki tabloda yer verilmiştir (**Çizelge 1**).

**Çizelge 1:** Örneklerde kullanılan özellik ve uygulamaların bir araya toplanması

Çalışma Adı- Yazar- Yıl	Biyomimikri İlişkisi	Yöntem	İklim	Analiz Programı	Problem Çözümü	Esin Kaynağı
Biyomimikri Destekli İnteraktif Cephe Bileşen Tasarım Önerisi Harun KARS Ocak 2021	Biyomimikri'den Yararlanarak Kinetik Cephe Önerisi Malzeme- Cephe-Biçim ve Hareket	Gün ışığı analizi ve enerji analizi	Kars/ soğuk iklim	Revit Dynamo Energy Optimization ve Insight eklentileri	1-Isı korunumu 2- Güneş ışığına duyarlı hareket etme	1-Kutup ayısı Ve 2- Alpine Buttercup
Biyomimikriye Dayalı Adaptif Güneş Kırıcı Tasarımı Motez ALNAJAR Temmuz 2021	Adaptif Güneş Kırıcı Tasarımı	Gün ışığı ve enerji modeli analizi	Sıcak Çöl İklimi	Rhinoceros, Grasshopper Ladybug	1-Işık ve ısı yönetimi 2- Termal hareket	1-Petek düzeni 2- Çam ve uyku otu
Advanced Architecture Design Strategy Based On Biomimicry Towards Highperformance Design in High-Rise Buildings Ziyad Amer Majeed Alyasiri Haziran 2020	Adaptif Güneş Kırıcı Tasarımı	Gün ışığı ve enerji modeli analizi	Sıcak/ Nemli	Rhinoceros, Grasshopper Galapagos, Honeybee	1-Form 2- Doğal havalandırma	1- Kaktüs diken sistemi 2- Monestera meyve formu.

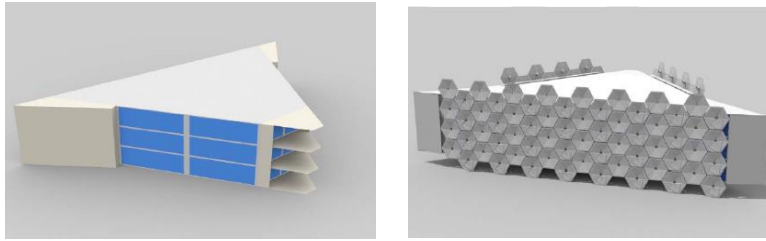
Bir tez çalışması da olan ilk tasarım önerisi H. Kars Tarafından tez çalışması kapsamında yapılmıştır. Tasarım Türkiye'nin Soğuk ilkim bölgesinde yer alan Kars ilinde bulunmaktadır. Burada kış ayları çok soğuk geçerken yaz ayları serin geçmektedir. Dolayısıyla burada bulunan bir yapının ısınma yükü ve enerji kullanımı fazladır. Yazar ilham kaynağı olarak alplerin düğün çiçeği adlı bir bitkiyi ve kutup ayısını seçmiştir. Alplerin düğün çiçeği olarak adlandırılan bu bitki 1500 metre dolaylarına kadar olan yüksek kayalık ve genellikle soğuk bölgelerde bulunmaktadır. Bu bitki güneşi takip ederek ısısını artırma özelliğine sahiptir. Ayrıca kalın bir kürke ve yağ tabakasında sahip olan kutup ayısı soğuğa karşı dayanıklıdır. Tez yazarı bu iki canlının temel özelliklerinden esinlenerek bir cephe önerisinde bulunmuştur. Bu bağlamda 5cm kalınlığında ısı tutan adaptif paneller oluşturmuştur (**Şekil 6**). Panellere günün farklı saatlerinde farklı açılar oluşturması tanımlanmış olması dolayısıyla yapılan analiz, günün farklı saatlerinde farklı açılarla değerlendirilmiştir. Yazar yaptığı tasarımın ardından Revit' in enerji ayarları sekmesi aracılığıyla günün farklı saat ve açıları için enerji modeli oluşturarak enerji kullanımını incelemiştir. İlk olarak tasarlanan cephenin kullanılmadığı bir oda analiz edilmiş ve yıllık enerji kullanımı saptanmıştır. İkinci olarak tasarlanan cephe elemanı kapalı olarak yerleştirilerek analiz edilmiştir. Yapılan bu analizde ise enerji maliyetinde %6 verim sağlandığı saptanmıştır. Oluşturulan üçüncü enerji modelinde ise cephenin tamamen açık panellerin birbirine paralel yapıya 90 derece olduğu

konumdaki enerji modeli incelenilmiştir. Bu modelde ise yıllık enerji maliyetinde %10 tasarruf sağlandığı gözlemlenmiştir. [17].

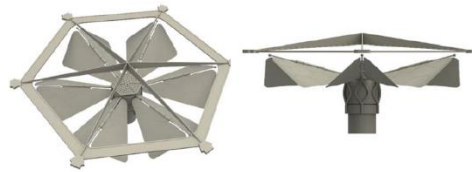


Şekil 6: H. Kars Cephe Tasarım Önerisi [17]

İkinci tasarım önerisi ise M.Alnajar tarafından benzer şekilde tez çalışması kapsamında yapılmıştır. Bu çalışma ise herhangi bir gölgelendirme elemanı olmayan yapı için Biyomimikri esaslı cephe önerisi (Şekil 7) ve değerlendirilmesi üzerinedir. Tasarımın formunda boşluk yaratmak için doğada var olan altıgen formu ve devetabanı (monestera) meyvesinin formu örnek alınmıştır. Tasarımın işlevinde ayçiçeğinin güneşi takip yeteneği kullanılmış ve fotosentez yapan bitkilerin karbondioksiti alarak oksijene çevirme özelliğinden esinlenerek paneller (Şekil 8) üzerinde hava türbinleri oluşturulmuştur. Yeterli miktarda güneşi aldıktan sonra yapraklarında gerçekleşen kapanıp açılma davranışını örnek olarak da tasarımını tamamlamıştır. Tasarımın ana amacı gölgelendirme, havalandırma, gün ışığı kullanımı ve enerji üretimidir. Analiz kısmında tasarımını sıcak-nemli, sıcak-kuru olan farklı iklim tipine sahip bölgelerde denenmiş ve yapılan analizler sonucunda, sıcak-nemli iklim bölgelerinde enerji verimliliği sağladığı ve ilklime yüksek adaptasyon sağlayabildiği görülmüştür. Sıcak-kuru ilklime sahip alanlarda ise daha düşük performansa sahip olduğu ancak yine de enerji yükünün ortalamasının altında olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma kapsamında ise enerji yükü bazında öncelik olarak ısınma soğuma yükünün, ikinci olarak aydınlatma yükünün ve üçüncü olarak ise adaptif konfor değerlerini sağlamanın geldiği saptanmıştır [18].

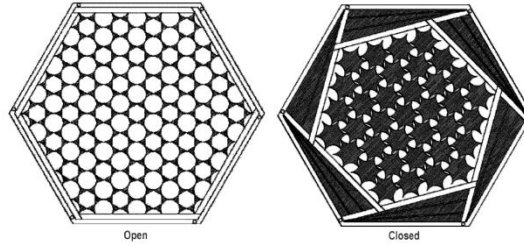


Şekil 7- Z. Alyasiri Cephe Tasarım Önerisi [18]



Şekil 8: Z. Alyasiri Cephe Tasarım Önerisi İçin Öneri Panel Şekli [18]

Üçüncü tasarım önerisinde [19] ise tasarımcı çam ve uyku otu (Mimosa Pudica) gibi bitkilerde de görülen kinetik amplifikasyon prensibini kullanmıştır. Kinetik amplifikasyon (kinetik düzeltme) genetik bilgi akışında bulunan bir hata düzeltme mekanizmasıdır. Örneğin; uyku otu (Mimosa Pudica) bitkisine dokunulması ile yapraklarını hızla kapatması davranışı ve çam kozalaklarının güneş ışığının etkisiyle ısınarak tohumlarını serbest bırakması bu davranışla örnektir. Doğada çeşitli davranışlarda ve organizmalarda bulunabilmektedir. Ayrıca yazar doğada çokça örneği bulunan (arı peteği, yılan derisi, kimyasal bileşik bağları vb.) altıgen şeklienden yola çıkarak tasarladığı panelin iç parçaları arasında da yapısal stabilitesini arttırmak için yine bu formu tercih etmiştir (**Şekil 9**). Bu bağlamda tasarımcı Biyomimikri kullanarak tasarladığı adaptif gölgelendirme sisteminde yukarıda bahsedilen canlıları örnek almıştır. [19], [20]



**Şekil 9:** M. Alnajar Cephe için Adaptif Panel Önerisi (Cephede tek parça şeklinde kullanılmaktadır.) [22]

Tasarımı oluşturduktan sonra Rhinoceros ve Grasshopper’da Ladybug eklentisi aracılığıyla gün ışığı ve enerji modeli analizi yapmıştır. Sıcak-nemli ve sıcak-kuru iklimlerde inceleme yapmasının ardından adaptif gölgelendirme sisteminin tasarımın iç mekân konforunu arttırdığını gözlemlemiştir. Yapılan analiz sonucunda sistemin yoğun güneş ışığının etkisini azalttığını ve sıcaklık aralıklarının iyileştiğini gözlemlemiştir. Ayrıca yazar yapmış olduğu model testlerinde ise optik kamera ve sensörler aracılığıyla ulaştığı ölçümlerde de aynı sonuca ulaşmıştır. [19]. Buradan da çıkarımla soğutma yükünün azaltılmasıyla birlikte tasarımın enerji yükünün azaldığı savunulabilir.

İncelenmiş olan üç örnekten de çıkarımla tasarımda Biyomimikri davranış ve prensiplerin kullanılması yapıda kullanılan enerji yükünü azaltmaktadır. Üç örnek beraberinde enerji etkin bir yapı oluşturulurken Biyomimikri ile birlikte kullanılmasının getirileri gözlenmiştir. Sonraki kısımda geçmiş bölümde bahsedilen örnekler ve son kısımdaki üç örnekten çıkarımla konunun daha da desteklenebilmesi için oluşturulan bir tasarım önerisine de yer verilmiştir.

### **3. ENERJİ ETKİN YAPI TASARIMINDA BİYOMİMİKİRİ ARACILIYLA KONSEPT PROJE OLUŞTURULMASI**

Oluşturulan tasarım yarı kurak karasal iklime sahip olan Yozgat/ Akdağmadeni civarlarında yer almaktadır. Bu bölgede yaz ayları sıcak ve kurak (kısmen serin, kış aylarının etkileri daha uzun sürmektedir), kış ayları ise soğuk ve yağışlı geçmektedir. Bu bölgede bulunan tipik evler bir veya iki katlı olmaktadır. Ayrıca zaman içinde tarihi taş ev dokusu yerini beton yapılaşmaya bırakmıştır. Bölgede bulunan tipik ev şekilleri (**Şekil 10-11**) ve oluşturulan temsili modeli (**Şekil 12**) aşağıda yer almaktadır [21].





Şekil 10: Akdağmadeni Köy Evleri Tipolojisi [22]



Şekil 11: Akdağmadeni Örnek Köy Evi (H. Temurtaş fotoğraf arşivinden 2 Nisan 2024 tarihinde alınmıştır.)



Şekil 12: Akdağmadeni Temsili Köy Evi Modellemesi

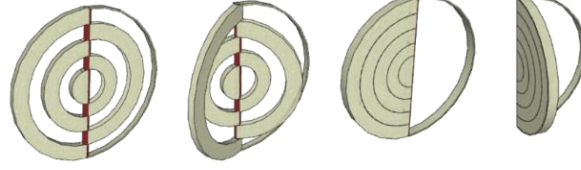


Şekil 13: Konsept Tasarım İçin Örnek Alınan Form ve Davranışlar [23]

Yapı içerisindeki doğal ışık miktarını arttırmak için dallanma şeklinde ağısı boşluklar bırakılmıştır. Yapı içerisinde alınan ışık miktarının artırılması beraberinde içerisinde kullanılan ısı tutucu bir malzeme kullanılması aracılığıyla yapının ısıtma yükünün azaltılabileceği düşünülmektedir. Ancak güneş etkisinin yaz aylarında fazla olması durumunda oluşabilecek olumsuzluklardan korunmak amaçlı son örnekte de bahsi geçen ve doğada birçok canlıda bulunan kinetik amplifikasyon (Şekil 13) (kinetik düzeltme) davranışı örnek alınmıştır. Dolayısıyla yeterince ısı alan yapı kinetik düzeltme davranışına giderek sistemi kapalı duruma getirmektedir. Ayrıca ayçiçeğinin güneşi takip hareketine benzer olarak yapıda güneş ihtiyacına göre acısını değiştirmektedir. Kinetik amplifikasyon ve güneşi takip davranış özelliklerinden oluşan dairesel paneller (Şekil 15) yapı içerisindeki ışık miktarını kontrol altında tutarak yapının hem ısınmasını hem de konfor şartlarını dengede tutmasına yardımcı olacağı düşünülmektedir. Ayrıca karşılıklı boşluklar aracılığıyla panellerin tam dik konuma getirilmesi mümkündür. Önerilen tasarım henüz konsept aşamasında olmakla birlikte yapıda kullanılan açıklıklar ve kullanılacak olan paneller temsili olarak yerleştirilmiş, ölçüleri ve sıklıkları tam konumun belirlenmesi ile değiştirilebilmektedir. İncelenen örneklerden çıkarımla aşağı kısımda örnek yapının tek bir cephesi baz alınarak Biyomimikri aracılığıyla alternatif bir tasarım önerisi sunulmuştur.



Şekil 14: Öneri Konsept Tasarım



**Şekil 15:** Kinetik amplifikasyon ve güneşi takip davranış özelliklerinden oluşan dairesel paneller

Oluşturulan tasarımın bulunduğu cephe güney batı yönüne bakmaktadır. Yapı cephesinde yerel bir malzeme olan çam tercih edilmiştir. Ancak panellerin hareketini sağlamak amacıyla orta kısımlarında sensör ve hareket mekanizması bulunmaktadır. Önerilen tasarım bağlamında güneşin az olduğu ve soğuk kış aylarında yatay yarı kapalı konuma getirilerek yapı içerisindeki ısının kısmen korunacağı düşünülmektedir. Aynı zamanda yaz aylarında ise bulutluluk ve güneş durumuna göre dik yarı açık veya güneş açısına göre parçalı açıklıklar ile kullanılarak güneş ışınlarını kontrollü olarak yapıya alınacağı düşünülmektedir. Günün farklı saatlerinde oluşan hava sıcaklıkları dikkate alarak güneşin hareketini takip ederek sistemin yarı kapalı, tam açık veya açıklıkları aracılığıyla iç konforun sabit tutulacağı öngörülmektedir ve enerji yükünün azaltılabileceği düşünülmektedir.

#### **4. SONUÇ, DEĞERLENDİRME**

Önceki bölümlerde bahsi geçen kısımlardan özetle enerji kaynaklarının büyük bir kısmını kullanan yapı sektöründe enerjinin korunumu ve etkin bir şekilde kullanılması kaynakların yakın bir dönem içerisinde tükenmemesi için önem arz etmektedir. Bu bağlamda geliştirilen enerji etkin tasarım kavramı, tasarım oluştururken pasif sistemlerin kullanımının artırılması ile enerji yükünü azaltmayı amaçlamaktadır. Enerji etkin bir yapı oluştururken, konumu, formu, yönelimi gibi dikkat edilmesi gereken özellikleri dışında bir üst seviyeye taşıyabilecek olan farklı tasarım algıları ile bir arada kullanılması ile desteklenebilmektedir. Bu amaçla doğadan ilhamla oluşan bir bilim dalı olan Biyomimikri ile kullanılması, örneklerden de anlaşılacağı gibi doğayla iç içe bir tasarım oluştururken aynı zamanda enerji yükünü azaltmaya yardımcı olmaktadır. Biyomimikri doğada bulunan farklı süreç ve davranışlar aracılığıyla problemlere bulduğu çözümler ile sağladığı pozitif etkilerden yararlanılabilecek potansiyel bir tasarım kaynağıdır. İncelenen örneklerden çıkarımla enerji etkin bir tasarım oluşturulurken Biyomimikri'nin kullanılması ile yapının veriminin arttığı ve enerji yükünün azaldığı gözlemlenmiştir. Önerilen tasarımda ise kullanılan özellikler beraberinde oluşturulan formun sunulması ile konuyu pekiştirmek amaçlanmıştır.

Biyomimikri günümüzde yaygınlığını arttırmakta olan bir konudur. Tasarımlarda farklı yollarla enerji kullanımını azaltan ve doğal çözümler üreten yapısıyla geleceğin önemli tasarım kaynaklarından biri olacağı düşünülebilmektedir. Ayrıca farklı düşünce yapısıyla daha özgür tasarımların önünü açabilme potansiyeline sahiptir.

#### **KAYNAKLAR**

1. Ç. B. Dikmen, "Enerji Etkin Yapı Tasarım Ölçütlerinin Örneklenmesi", Politeknik Dergisi, c. 14, sy 2, ss. 121-134, 2011.
2. Ç. B. Dikmen ve A. B. Gültekin, "Usage Of Renewable Energy Resources In Buildings in The Context Of Sustainability", Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, c. 1, sy 3, ss. 96-100, 2011, [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.researchgate.net/publication/315809517>

3. G. Manioğlu, “Enerji Etkin Tasarım ve Yenileme Çalışmalarının Örneklerle Değerlendirilmesi”, Tesisat Mühendisliği, sy 126, ss. 35-47, 2011.
4. S. B. Çelikel ve S. Uçar, “BİYOMİMİKİRİ: DOĞAYLA UYUMLU YENİ BİR TASARIM MODELİ”, NWSA Academic Journals, c. 15, sy 2, ss. 51-60, Nis. 2020, doi: 10.12739/nwsa.2020.15.2.4c0235.
5. H. E. Beytekin, “YAPI KABUĞUNUN ENERJİ ETKİLİĞİ AÇISINDAN İNCELENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ”, Yüksek Lisans, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 2016.
6. N. Engin, “Enerji Etkin Tasarımda Pasif İklimlendirme: Doğal Havalandırma”, Tesisat Mühendisliği, May. 2012.
7. R. Rao, “Biomimicry in Architecture”, International Journal of Advanced Research in Civil,Structural,Environmental and Infrastructure Engineering and Developing, Nis. 2014.
8. H. Yıldız, “Endüstri Ürünleri Kapsamında Biyomimetrik Tasarımın Yeri ve Metodolojisi”, Yüksek Lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2012.
9. S. Selçuk Arslan ve A. Sorguç Gönenç, “MİMARLIK TASARIMI PARADİGMASINDA BİOMİMESİS’İN ETKİSİ”, Gazi Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi, c. 22, sy 2, ss. 451-459, 2007.
10. J. Benyus, “A Biomimicry Primer”, ABD, Montana, 2013.
11. P. M. Zari, “Biomimetic Approaches to Architectural Design for Increased Sustainability”, Auckland, New Zealand, 2007.
12. “Durian Meyvesi”. Erişim: 25 Mart 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.gencmimarlar.com/post/do%C4%9Fayi-takli%CC%87t-tasarimda-bi%CC%87yomi%CC%87mi%CC%87kri%CC%87>
13. “Singapur Esplane Tiyatroları- Durian Meyvesinden İlhamla Yapılan Çatı Kaplaması”. Erişim: 25 Mart 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.gencmimarlar.com/post/do%C4%9Fayi-takli%CC%87t-tasarimda-bi%CC%87yomi%CC%87mi%CC%87kri%CC%87>
14. I. Kuday, “Tasarım Sürecini Destekleyici Faktör Olarak Biyomimikri Kavramının İncelenmesi”, Yüksek Lisans, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul, 2009.
15. “East Gate”. Erişim: 27 Mart 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://livinspace.net/ls-tv/watch-how-the-eastgate-center-in-zimbabwe-cools-itself-without-air-conditioning/>
16. L. Stefanutti, “Eastgate Building, Harare”. Erişim: 27 Mart 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.rcinews.it/2020/04/14/eastgate-building-harare/> analiz olanlar
17. H. Kars, “BİYOMİMİKİRİ DESTEKLİ İNTERAKTİF CEPHE BİLEŞEN TASARIM ÖNERİSİ”, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2021.
18. Z. A. M. Alyasiri, “Advanced Architecture Design Strategy Based on Biomimicry Towards High-Performance Design in High-Rise Buildings”, Master Thesis, Yaşar University , İzmir, 2020.
19. M. Alnajjar, “The Design of an Adaptive Shading System Based on Biomimicry”, 2021.
20. V. Galstyan ve R. Phillips, “Allostery and Kinetic Proofreading”, May. 2020, doi: 10.1021/acs.jpcc.9b08380.
21. TC Yozgat Valiliği, “Yozgat İklimi”. Erişim: 02 Nisan 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <http://www.yozgat.gov.tr/iklim#:~:text=Yozgat%20%C4%B0%20inde%2C%20%C4%B0%3%A7%20Anadolu,g%C3%BCnd%C3%BCz%20aras%C4%B1ndaki%20s%C4%B1cakl%C4%B1k%20farklar%C4%B1%20y%C3%BCkseklik>
22. “Akdağmadeni Köy Evleri”. Erişim: 01 Nisan 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.koylerim.com/akdagmadeni-veziralani-koyu-resimleri-25810g.htm>
23. “Uyku Otu (Mimosa Pudica), Ağaç ve Yaprak”. Erişim: 03 Nisan 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.star.com.tr/teknoloji/bitkiler-de-insanlar-gibi-anesteziden-etkileniyorlar-haber-1383063/>

# **YAPI TASARIMI VE İŞLETİMİNDE BİNA KULLANICILARININ DİKKATE ALINMASI: TÜRKİYE BAĞLAMLI**

Fatih Topak<sup>1</sup>  
ODTÜ Mimarlık Fakültesi  
Ankara, Türkiye

## **ÖZET**

*Son yirmi yılda farklı kapsamlarda yapılan çalışmalarda yapılan çalışmalarla birlikte, binalarda kullanılan enerji miktarının ve insanların iç mekân çevresel koşullarına dair memnuniyetlerinin, insan-yapı etkileşimleri ile doğrudan ilişkili olduğu bilinmektedir. İnsanların yapı içerisindeki varlıkları ve davranışları hem aynı ortamdaki diğer bireyleri hem de bina sistemlerinin performansını etkilemektedir. Buna göre, bina kullanıcılarının yapı tasarımı ve işletiminde dikkate alınması, binalarda enerji verimliliğinin sağlanması ve sağlıklı iç mekân koşulları oluşturulması açısından önem taşımaktadır. Bu çalışma, uluslararası bir araştırma ortaklığı (IEA EBC Annex 79) kapsamında yürütülen bir anket ile, bina kullanıcı bilgilerinin yapı süreçlerinde nasıl değerlendirildiği konusunu Türkiye bağlamında incelemektedir. Anket çalışması mimarlar, mühendisler ve diğer yapı profesyonellerinin perspektiflerinden, kullanıcılarla ilgili hangi bilgilerin mevcut olduğu ve bu bilgilerin tasarım aşamasından yapı işletim aşamasına nasıl aktarıldığı konularına odaklanmaktadır. Araştırma sonuçları, bina kullanıcılarıyla ilgili bilgilerin daha detaylı bir şekilde sağlanarak yapı tasarım süreçlerinin ayrılmaz bir parçası haline getirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Sözleşmelerin, tasarım özetlerinin ve yönetmeliklerin önemli birer bilgi kaynağı olduğu görülmektedir. Bu belgelerin geliştirilmesinin kompleks kullanıcı davranış modellerinin bina performans simülasyonlarında uygulanması konusunda, teori-pratik farklılığını olumlu bir şekilde etkileme potansiyeline sahip olduğu anlaşılmaktadır.*

*Anahtar sözcükler: Bina kullanıcı verisi, Yapı işletimi, Enerji verimliliği*

## **ABSTRACT**

*In the past two decades, various studies have demonstrated that human-building interactions directly correlate with the amount of energy used in buildings and the satisfaction of individuals with indoor environmental conditions. The presence and behavior of individuals within a space impact other occupants in the same environment and the performance of building systems. Accordingly, considering occupants in buildings' design and operation phases is crucial for ensuring energy efficiency and providing healthy indoor conditions. This study examines how occupant data is assessed in building processes within the context of Turkey through a survey conducted as part of an international research collaboration (IEA EBC Annex 79). Through the lenses of architects, engineers, and other building professionals, the survey focuses on the availability of occupant data and investigates how this data is transferred from the design phase to the operational phase. The research results highlight the necessity of having more detailed information about occupants and making it an integral part of the building design processes. Contracts, design briefs, and regulations were identified as significant sources of information. It is observed that the development of these documents has the potential to positively influence the application of complex occupant behavior models in building performance simulations, bridging the gap between theory and practice.*

*Keywords: Occupant Data, Building Operation, Energy Efficiency*

<sup>1</sup> e-posta adresi: ftopak@metu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda, sürdürülebilir yapı tasarımı ve işletimi alanı, insan-bina etkileşimlerinin enerji kullanımını ve iç mekân çevresel koşullarını şekillendirmede oynadığı kritik rolün giderek daha fazla kabul görmesiyle önemli bir paradigma değişimine uğramıştır [1]. Geçtiğimiz on yılda yapılan birçok araştırma, bina kullanıcı davranışları, kullanıcıların iç mekân memnuniyet düzeyleri ve binaların enerji tüketim miktarları arasında doğrudan bir ilişki olduğunu göstermiştir [2]. Bina kullanıcılarının eylemleri, diğer bina kullanıcılarının konfor ve iç mekân deneyimlerini etkilemekten öte giderek, bina sistemlerinin performansını da etkilemektedir [3]. İnsanların bina performansı üzerindeki çok yönlü etkilerinin ortaya konulmasıyla birlikte, bina kullanıcıları ile ilgili bilgilerin yapı tasarım ve işletim aşamalarına entegre edilmesi önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir [4]. Bu entegrasyon, yapılarda enerji verimliliğini artırmak ve insanlar için sağlıklı ve konforlu iç mekân koşulları oluşturmak adına büyük önem taşımaktadır [5]. Ancak, bina kullanıcı verilerinin yapı tasarım ve işletim süreçlerine ne ölçüde ve hangi yöntemlerle dahil edildiği üzerine çok fazla araştırma bulunmamaktadır.

Bu çalışma, bina kullanıcı bilgilerinin yapım süreçlerinde nasıl değerlendirildiği konusunu Türkiye bağlamında incelemektedir. Uluslararası bir araştırma ortaklığı (IEA EBC Annex 79) kapsamında farklı coğrafyalarda yürütülen bir anket çalışmasının Türkiye ayağını oluşturan bu araştırma, mimarlar, mühendisler ve diğer yapı profesyonellerinin perspektiflerinden, kullanıcılarla ilgili tasarım aşamasından işletme aşamasına kadar kullanıcı verilerinin toplanması, kullanımı ve aktarımı konusundaki mevcut uygulamalara odaklanmaktadır.

Bu araştırmanın bulgularının, yapı tasarım ve işletim süreçlerine detaylı kullanıcı bilgilerinin entegre edilmesinin önemini vurgulaması ve bu tür verilerin etkin bir şekilde kullanılabilmesi için standart protokoller ve çerçevelerin geliştirilmesine olan ihtiyacı ortaya koyması öngörülmektedir. Bina kullanıcı verilerinin mevcut durumdaki değerlendirilme pratiğini açıklığa kavuşturacak olan bu çalışma, sürdürülebilir yapı uygulamalarının ilerlemesine katkıda bulunmayı ve bu alanda gelecekte yapılacak araştırmaları ve ilgili politika girişimlerini yönlendirmeyi amaçlamaktadır.

## 2. YÖNTEM

Mimarlık, mühendislik ve inşaat sektörü çalışanlarına yönelik tasarlanan ve gerçekleştirilen anket çalışması üç bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde anket katılımcıları ile ilgili temel bilgiler toplanırken, ikinci bölümde bina kullanıcı bilgilerinin tasarım ve işletim süreçlerine entegrasyonu üzerine odaklanılmıştır. Son bölümde ise kullanılan simülasyon araçları ve mevcut bina kullanıcı modellerinin kullanımı ele alınmıştır. Anket, LimeSurvey [6] platformu aracılığı ile çevrimiçi olarak gerçekleştirilmiştir. Uygun örneklem stratejisi kullanılan bu çalışmanın dağıtımında, TMMOB Mimarlar Odası ve TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası gibi meslek kuruluşlarından destek alınmıştır.

Mayıs 2021 – Ocak 2022 arasında yapılan anket çalışmasına toplam 129 kişi katılmıştır. Toplanan veriler analiz edilmeden önce belli kriterler gözetilerek temizlenmiştir. Eksik doldurulan, makul olmayan bir süre aralığında bitirilen ve ‘bina kullanıcı bilgilerinin tasarım ve işletim süreçlerine entegrasyonu’ bölümünde herhangi bir bilgi sağlamayan anket girdileri (n=91) veri setinden

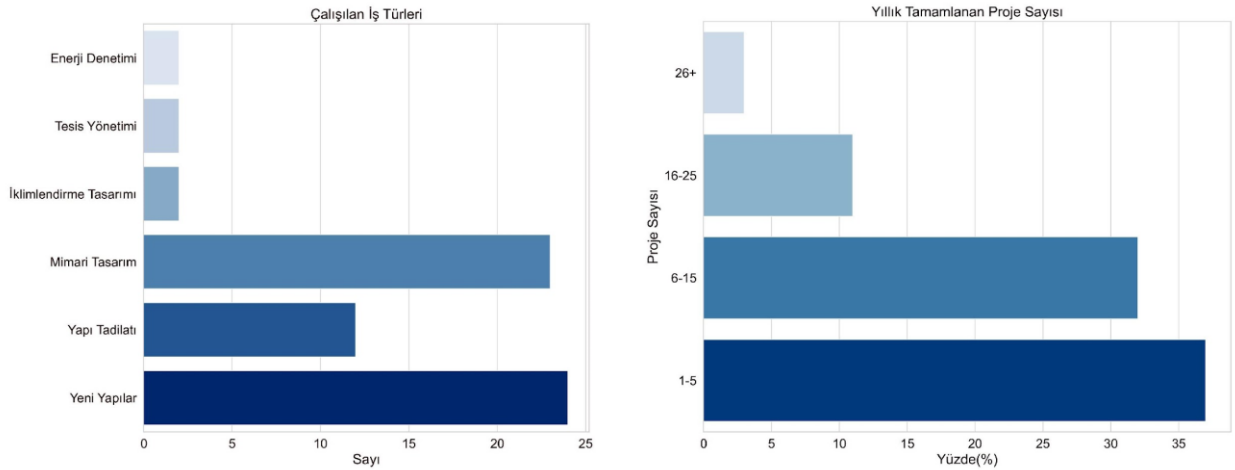
çıkarılmıştır. Bu bildiriye sunulan sonuçlara, veri seti temizlendikten sonra oluşan son örneklem (n=38) üzerinden yapılan analizler ile ulaşılmıştır.

### 3. BULGULAR

#### *Genel Bilgi: Meslek Grupları, Firmalar ve Projeler*

Çalışma katılımcılarının büyük çoğunluğunu mimarlar (%76) ve inşaat mühendisleri (%13) oluştururken, yapı bilgi modelleme uzmanları ve akustik danışmanlar da katılım sağlamışlardır. Katılımcıların %16'sı uzmanlık alanlarını multidisipliner olarak tanımlarken, %63'ü mimarlık, %10'u inşaat mühendisliği, %5'i yapı bilgi modellemesi ve %5'i restorasyon olarak tanımlamıştır.

Ankete katılan inşaat sektörü mensuplarının çoğunluğu (%45) çalışan sayısı 1-9 arasında olan küçük çaplı firmalarda çalışırken, %36'sı çalışan sayısı 10-99 arasında değişen orta ölçekli firmalarda, %10'u ise 100 kişiden fazla çalışanı olan büyük ölçekli şirketlerde çalışmaktadır. Katılımcıların firmaları ile ilgili iş türü ve proje sayısı verileri **Şekil 1**'de gösterilmiştir. Katılımcıların çalıştıkları firmalar genellikle aynı anda çeşitli iş türlerinde hizmet verirken, yeni yapılar, mimari tasarım ve yapı tadilatı işlerinin yoğunlukta olduğu görülmüştür. Üretkenlik kapasitesi açısından değerlendirildiğinde, firmaların %70'e yakınının yıllık tamamladığı proje sayısı 1 ile 15 arasında değişirken, küçük bir bölümünün (%3) bir yılda tamamladığı proje sayısının 26'nın üzerinde olduğu anlaşılmıştır. İlginç bir şekilde, çalışan sayısının 100 kişiden fazla olduğu belirtilen firmalarda yıllık tamamlanan proje sayısının 1-5 arası olarak rapor edildiği görülmüştür. Bu sonucun, 'tamamlanan proje' tanımı algısındaki farklılık ve proje kapsam çeşitliliğinden öte geldiği varsayılmaktadır.

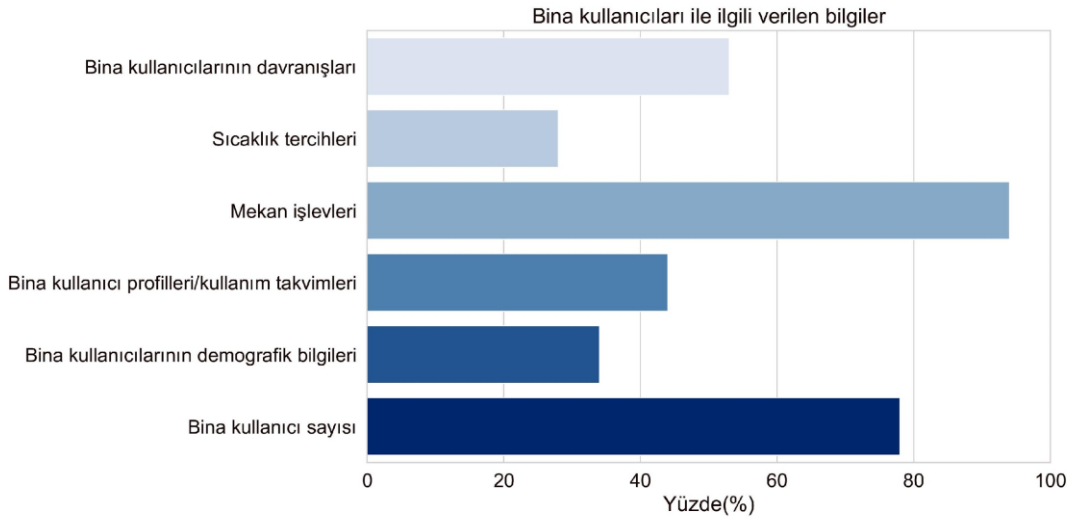


**Şekil 1:** Katılımcıların çalıştıkları firmalarda çalışılan proje türleri ve yıllık tamamlanan proje sayıları

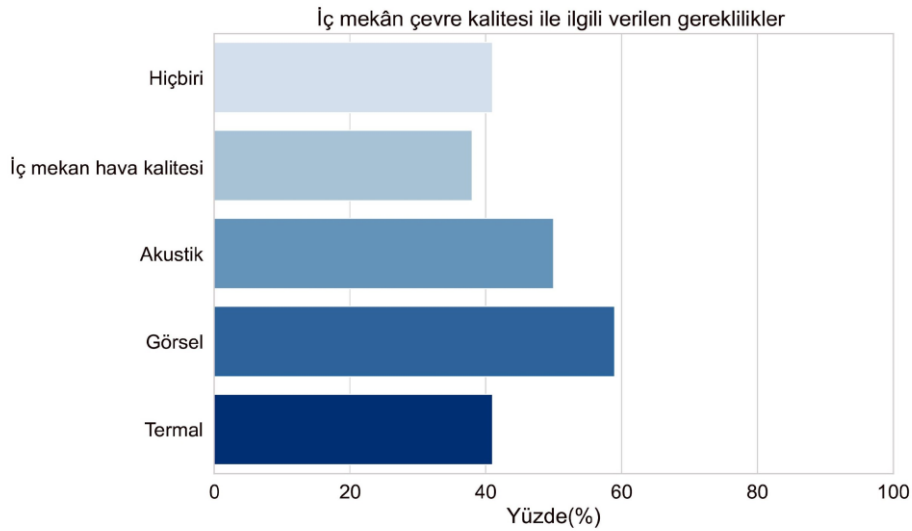
Katılımcıların dahil olduğu projeler ağırlıklı olarak Asya'da (%72) yer alırken, onu Avrupa (%24) ve Afrika'nın (%4) takip ettiği görülmüştür. Firmaların yoğunlaştıkları iş türleri, yıllık tamamlanan proje sayıları ve çalışılan coğrafyalar arasında bir korelasyon bulunamamıştır. Ancak bunun sebebinin, uygun örneklem seçimi ve kısıtlı veri seti olduğu düşünülmektedir.

## ***Bina Kullanıcı Bilgilerinin Tasarım ve İşletim Süreçlerine Entegrasyonu***

Ankette yöneltilen “Yapı tasarımı, tadilat projesi veya yapı işletimi için müşteriden ya da proje yöneticisinden gelecekteki kullanıcılar hakkında ne sıklıkla bilgi alıyorsunuz?” sorusuna, katılımcıların %50’si her zaman ve %27’si genellikle cevabını verirken, %27’si nadir olarak bilgi aldıklarını belirtmiştir. Alınan bilgilerin içeriği sorulduğunda ise, mekân işlevi %94 ile ilk sırada yer almıştır (**Şekil 2**). Mekân işlevi, bina kullanıcıların mekânda gerçekleştirecekleri aktivite olarak tanımlanmıştır. Katılımcıların %78’si bina kullanıcı sayısı ile ilgili bilgi edindiklerini belirtirken, onu %53 ile bina kullanıcı davranışları ve %44 ile kullanıcıların mekân kullanım profilleri takip etmiştir. Bina kullanıcılarının demografik bilgileri (cinsiyet, yaş, eğitim, vs.) (%34) ve sıcaklık tercihleri (%28) ile ilgili bilgi edinme oranının oldukça düşük olduğu görülmüştür.



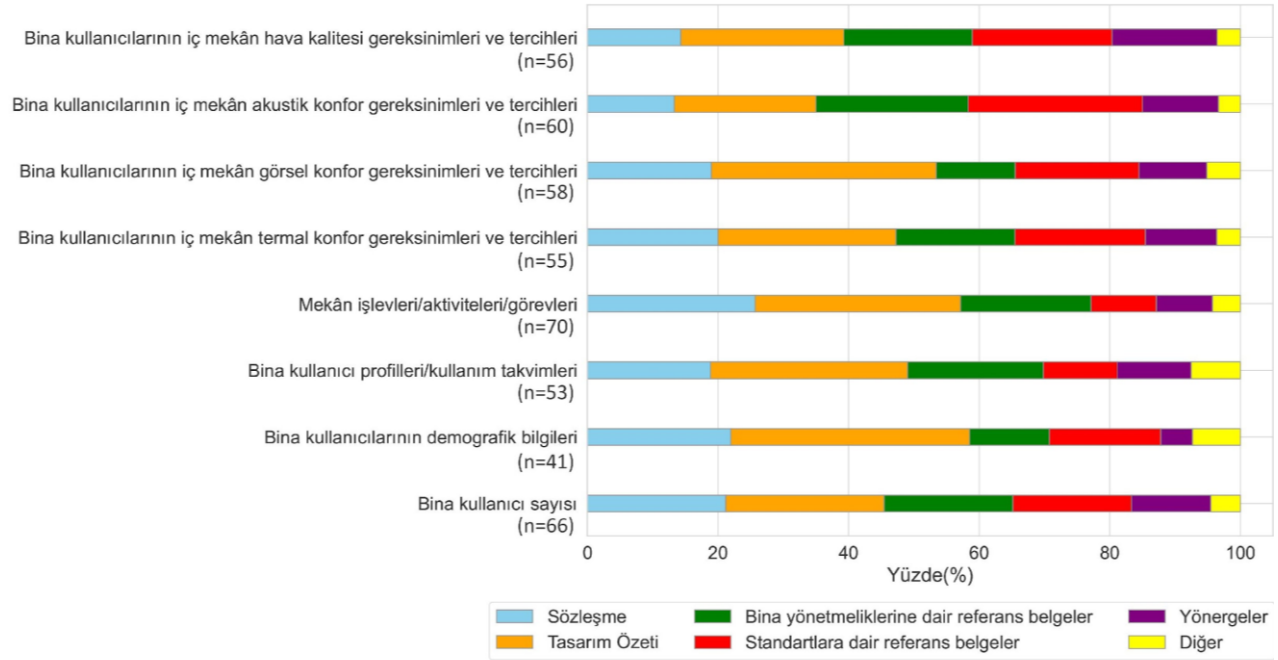
**Şekil 2:** Müşteriler tarafından verilen bina kullanıcıları ile ilgili bilgiler



**Şekil 3:** Müşteriler tarafından bildirilen iç mekân çevre kalitesi ile ilgili gereklilikler

Müşterilerden proje tanımı kapsamında verilen iç mekân çevre kalitesi ile ilgili gereklilikler sorulduğunda verilen yanıtların yüzdeleri **Şekil 3**'de gösterilmiştir. Termal ve iç mekân hava kalitesi gerekliliklerinin %41 ve %38 yanıt oranları ile ortalamanın altında vurgulandığı gözlemlenirken, katılımcıların %59'u sağlanması gereken görsel gereklilikler hakkında bilgi aldıklarını belirtmişlerdir. İç mekân çevre kalitesi ile ilgili hiçbir bilgi almadıklarını söyleyen katılımcıların oranının ise %47 ile bir hayli yüksek olduğu görülmüştür.

Bina kullanıcıları ile ilgili bilgiler sözleşme, tasarım özeti, bina yönetmeliklerine dair referanslar (yapı yönetmeliği, deprem yönetmeliği vb.), standartlara dair referanslar (TSE standartları, Avrupa Standartları (EN), ISO vb.) ve yönergeler (TMMOB yönergeleri, mevzuat yönergeleri vb.) gibi belgelerden alınmaktadır. Bina kullanıcıları ile ilgili bilgilerin alındığı bu belgelerin, her bir bilgi kategorisi için yüzdeler dağılımı **Şekil 4**'de verilmiştir. Katılımcıların çoğunluğu mekân işlevleri, demografik özellikler ve bina kullanıcılarının görsel konfor gereksinimlerine dair bilgilerin tasarım özeti belgesinden alındığını belirtmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, binaları kullanacak olan insanlarla ilgili bilgilerin sözleşme ve tasarım özeti belgelerinden geldiği, standartlar ve yönergelerden bu minvalde daha düşük bir oranda yararlandığı görülmüştür. Standartlardan yüzdeler olarak daha fazla yararlandığı bilginin akustik gereksinimler olduğu anlaşılmaktadır. Bunların yanında, diğer seçeneğini işaretleyen katılımcılar, bu bilgilerin yapıyı kullanacak insanlardan direkt olarak alınması, bilgi gerektiğinde sözlü ya da yazılı olarak müşteriye sorulması gibi yöntemlerden bahsetmişlerdir.



**Şekil 3:** Bina kullanıcı ile ilgili bilgilerin alındığı belgelerin her bilgi kategorisi için yüzdeler dağılımı

Katılımcıların dörtte üçü bina kullanıcıları ile ilgili bilgilerin (kullanıcı sayısı, demografik özellikler, kullanıcı profilleri gibi) proje süreci içerisinde güncellendiğini belirtmişlerdir. Herhangi bir güncellemenin yapılmadığı durumlarda ise, sebepler arasında işverenin bu doğrultudaki sınırlı ilgi ve bilgisi, yapı tipolojisine bağlı olarak değişmeyen girdiler (örneğin yurt projeleri) ve bina kullanıcı sayısı dışındaki bilgilerin tasarım sürecinde girdi olarak alınmaması sıralanmıştır.



Katılımcıların %52'sinin müşterilerden çalışılan proje kapsamında belirli konfor sınıflarının (termal, görsel, akustik, iç mekân hava kalitesi gibi) sağlanması ile ilgili sözleşmeye bağlı spesifik direktifler almadıkları görülmüştür. Türkiye bağlamında yapıların konfor sınıfları ile ilgili sadece yönetmeliklerdeki minimum standardı sağlamasına dikkat edildiği, minimum standart dışında bir beklentinin olmadığı ve sektör çalışanlarının kendi uzmanlık alanları dahilinde aldıkları inisiyatif dışında sektörde herhangi bir iyileştirme kaygısı güdülmediği belirtilmiştir.

### ***Simülasyon Araçları ve Bina Kullanıcı Modelleri***

Bina performans simülasyonu konsepti, fizik tabanlı yazılımlar kullanılarak yapıların enerji tüketiminin hesaplanması ve iç mekân çevresel kalitesinin değerlendirilmesini kapsamaktadır. İç mekân çevresel kalite değerlendirilmesi kapsamında yapılan analiz girdileri potansiyel pasif enerji kazançları, doğal havalandırma, gün ışığı, parlama, gölge durumu ve termal konfor olarak sıralanabilir.

Ankete katılan sektör çalışanlarının %60'ı iç mekân çevresel parametrelerini simülasyon araçları aracılığıyla değerlendirdiklerini belirtirken, %40'ının hiçbir simülasyon aracı kullanmadıkları anlaşılmıştır. Simülasyon araçlarının en çok (%40) görsel konfor değerlendirmesinde kullanılırken, onu termal konfor (%18), akustik konfor (%15) ve iç mekân hava kalitesinin (%11) izlediği görülmüştür. Kullanılan araçlar bakımından incelendiğinde, görsel konfor değerlendirilmesi için Autodesk Revit, Graphisoft Archicad, Trimble Sketchup ve Velux programlarından bahsedilirken, termal konfor değerlendirilmesi için Revit ve Honeybee programlarına değinilmiştir.

Bina kullanıcı davranış modelleri, bina enerji tüketimi ve iç mekân çevre kalitesi üzerinde etkileri olan insanların varlığını veya eylemlerini temsil etmek için kullanılır [7]. Bu tür modeller, sabit değerler (manuel olarak belirlenen sabit bir termostat ayarı gibi), kurala dayalı basit takvimler (ofis çalışma saatlerine dayalı kullanıcı sayısı gibi) veya girdi-çıkı ilişkilendirilmesine dayalı veri-bazlı modeller olarak farklılaşabilir. Bina performans simülasyonu araçlarında insanların binalardaki varlığını ve davranışlarını temsil etmek adına kullanılan modellere yönelik soruda, katılımcıların %37'si projeye özgü oluşturulmuş bina kullanıcı davranış modellerini, %21'i ise standart bina kullanıcı davranış modellerini kullandıklarını belirtmişlerdir. Duruma ve projeye özgü oluşturulmuş davranış modellerinin varlığına bağlı olarak kullanılan modelin değiştiğini belirten katılımcıların oranı %21 iken, bu sorunun çalıştıkları alan dahilinde anlamlı olmadığını belirtenlerin oranının ise yine %21 olduğu görülmüştür. Sektör çalışanlarının kullandıkları bina kullanıcı modellerinin farklılaştığı gözlemlenmiştir. Buna göre, veriye dayalı modeller en popüler konumda olup kullanım oranı %37 iken, basit takvimlerin kullanım oranı %22, sabit değerlerin kullanım oranı %19 ve daha kompleks analitik modellerin kullanım oranını %15 olarak hesaplanmıştır.

Genel çerçeve göz önüne alındığında, Türkiye yapı sektöründe simülasyon araçlarının kullanımının hala oldukça sınırlı bir ölçüde olduğu gözlemlenmiştir. Kullanılan simülasyon araçları ve bina kullanıcılarının bu araçlardaki temsili konusunda ise ortak bir yönelimin olmadığı anlaşılmıştır.

## 4. SONUÇLAR

Bu çalışmanın bulguları, Türkiye'de bina kullanıcı bilgilerinin yapı tasarım ve işletim süreçlerine entegrasyonunun hala gelişmekte olduğunu göstermektedir. Katılımcıların verdikleri yanıtlar, bina kullanıcıları hakkında bilgi alınmasına rağmen, bu bilgilerin kapsamı ve kaynağının sınırlı olduğunu ortaya koymuştur. Bina kullanıcılarıyla ilgili en yaygın bilgi türünün, mekân işlevi ve bina kullanıcı sayısı olduğu görülmüştür. Termal ve akustik konfor gibi iç mekân çevre kalitesi ile ilgili girdilerin ise az sıklıkla vurgulandığı anlaşılmaktadır. Bina kullanıcı bilgilerinin sözleşmeler, tasarım özetleri ve bina yönetmelikleri gibi farklı belgelerden elde edildiği görülmektedir.

Türkiye inşaat sektöründe simülasyon araçlarının kullanımının sınırlı olduğu ve kullanılan araçlar arasında bir standartlaşmanın olmadığı anlaşılmaktadır. Bina kullanıcı davranış modelleri ise projeden projeye değişiklik göstermektedir ve veriye dayalı modeller en popüler seçenek olarak öne çıkmaktadır.

Bu araştırmadaki bulgular değerlendirildiğinde, Türkiye'de mevcut durumun iyileştirilmesi, bina kullanıcı bilgilerinin daha etkin kullanımı ve süreçlere entegre edilmesi adına bazı öneriler şu şekilde sıralanabilir:

- Bina kullanıcı bilgilerinin toplanması, kullanımı ve aktarımı için Türkiye'de halihazırda kullanılan standart protokoller ve çerçevelerin geliştirilmesi
- Simülasyon araçlarının kullanımının yaygınlaştırılması ve bina kullanıcılarının bu araçlarda daha iyi temsil edilmesi
- Sürdürülebilir yapı tasarımı ve işletimi pratiğinde bina kullanıcılarının öneminin ilgili paydaşlara aktarılması
- Sektörde kullanıcı merkezli tasarım süreçlerinin sürdürülebilirlik konusundaki katkılarının anlatılması, genel bilinci artırmak için eğitim ve farkındalık programlarının düzenlenmesi

Bu araştırmanın Türkiye'de halihazırda bina kullanıcıları ile ilgili bilgilerin sektörde nasıl işlendiği üzerine bir ön araştırma niteliğinde olduğu ve yerel bağlamda sürdürülebilir yapı tasarım ve işletim uygulamalarının geliştirilmesi için bir girdi niteliği taşıdığı düşünülmektedir. Daha detaylı bir analiz için, daha geniş bir katılımcı grubuyla daha kapsamlı bir araştırma yapılması gerekmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada IEA EBC Annex 79 grubu faaliyetlerindeki ilgili tartışmalardan faydalanılmıştır. Yazar, makalede anlatılan çalışmanın altlığını oluşturan ve 12 farklı dile çevrilerek uluslararası ölçekte gerçekleştirilen anket çalışmasının hazırlanmasına katkı sağlayan IEA EBC Annex 79 katılımcısı araştırmacılara teşekkür eder.

## KAYNAKLAR

1. W. O'Brien *et al.*, "Introducing IEA EBC Annex 79: Key challenges and opportunities in the field of occupant-centric building design and operation," *Build. Environ.*, vol. 178, 2020, doi: 10.1016/j.buildenv.2020.106738.
2. T. Hong, S. D'Oca, W. J. N. Turner, and S. C. Taylor-Lange, "An ontology to represent energy-related occupant

behavior in buildings. Part I: Introduction to the DNAs framework,” *Build. Environ.*, vol. 92, no. P1, pp. 764–777, 2015, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.019>.

3. Y. Zhang, X. Bai, F. P. Mills, and J. C. V. Pezzey, “Rethinking the role of occupant behavior in building energy performance: A review,” *Energy Build.*, vol. 172, pp. 279–294, 2018, doi: [10.1016/j.enbuild.2018.05.017](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.05.017).

4. S. Naylor, M. Gillott, and T. Lau, “A review of occupant-centric building control strategies to reduce building energy use,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 96, pp. 1–10, 2018, doi: [10.1016/j.rser.2018.07.019](https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.07.019).

5. F. Topak, G. S. Pavlak, M. K. Pekerikli, J. Wang, and F. Jazizadeh, “Collective comfort optimization in multi-occupancy environments by leveraging personal comfort models and thermal distribution patterns,” *Build. Environ.*, vol. 239, p. 110401, 2023, doi: [10.1016/j.buildenv.2023.110401](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110401).

6. LimeSurvey GmbH, *LimeSurvey Tool*, 2016. <https://www.limesurvey.org/>

7. D. Yan *et al.*, “Occupant behavior modeling for building performance simulation: Current state and future challenges,” *Energy Build.*, vol. 107, pp. 264–278, 2015, doi: [10.1016/j.enbuild.2015.08.032](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.08.032).

## **GÖRSEL KONFOR KRİTERLERİNİN OLED AYDINLATMA İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Ayşe Nihan Avcı<sup>1</sup>

Çankaya Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Merkez Kampüs, Etimesgut, Ankara, 06790

### **ÖZET**

*Nitelikli bir aydınlatma, iç mekânda temel bir kriterdir. Bireyi ve iç ortamını dikkate alan çalışmalar, bireyin fiziksel ve psikolojik refahı için gereken ihtiyaçları kapsamlı bir şekilde analiz etmelidirler. Bu tür çalışmalar ayrıca bireylerde farkındalığı ve yapay aydınlatma kullanımını artırmıştır. Teknik gelişmeler, kontrol edilebilme kolaylığı ve farklı ihtiyaçlara ve ortamlara cevap verebilme yeteneği nedeniyle yapay aydınlatma sistemleri önemli bir tasarım bileşeni olarak görülmektedir. Akkor ve deşarj lambaları hala yaygın olarak kullanılırken, her ikisi de katı halli aydınlatma ailesinin üyesi olan LED ve OLED aydınlatma sistemleri gibi daha yeni teknolojiler giderek daha avantajlı hale gelmiştir. OLED'ler aydınlatma etkileşimlerinde yepyeni bir dünyanın kapılarını açmaktadır. Diğer çözümlere göre değişen dünyaya ayak uydurabilecek şekilde yüksek oranda geri dönüştürülebilir bileşenlerden üretilmeleri, enerji verimli ve sirkadiyen dostu olmaları, mavi ışık riski taşımamaları, hafif olmaları, düşük ayak izine sahip olmaları ve uzun ömürlü olmaları gibi birçok avantaja sahiptirler. İç mekân aydınlatması, kişinin fiziksel durumunu analiz etmek için etkili bir çevresel faktör olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada, katılımcılar arası bir deneyle yapay aydınlatma, görsel konfor ve cinsiyetin arasındaki ilişki araştırılacaktır. Bu çalışmada OLED aydınlatma, 3 adet görsel konfor kriterini (dikkat dağınıklığı, görsel netlik ve görsel yorgunluk) değerlendirmek için kullanılmıştır. İstatistiksel veriler değerlendirilmiş ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak tartışılmıştır.*

*Anahtar sözcükler: OLED aydınlatma, Cinsiyet farkı, Dikkat dağınıklığı, Görsel netlik, Görsel yorgunluk*

### **ABSTRACT**

*Quality lighting is an important requirement in interior design. Investigations that address the individuals and their indoor environment should thoroughly analyze their physical and psychological demands. This research has also raised individuals' awareness and use of artificial lighting. Artificial lighting systems are considered a significant design component due to technological advancements, ease of control, and the capacity to respond to various requirements and situations. While incandescent and discharge lamps remain popular, emerging technologies such as LED and OLED lighting systems, part of the solid-state lighting family, have grown increasingly advantageous. OLEDs usher in a new era of lighting interactions. They have several advantages over alternative solutions, including the fact that they are made from highly recyclable components, are energy efficient and circadian friendly, do not contain blue light, are lightweight, have a minimal production footprint, and have a long lifespan. Indoor lighting is an effective indoor environmental quality parameter for analyzing an individual's physical and psychological condition. In this study, the relationship between artificial lighting, visual comfort, and gender was investigated in a between-participants experiment. In this study, OLED lighting was used to evaluate three visual comfort criteria (visual distraction, visual clarity, and visual fatigue). Statistical data were reviewed, and the findings were thoroughly explained.*

*Keywords: OLED lighting, Gender difference, Visual distraction, Visual clarity, Visual fatigue*

---

<sup>1</sup> e-posta adresi: nihanavci@cankaya.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Aydınlatma tasarımı, doğal ve yapay aydınlatma kaynakları aracılığıyla kullanıcı-çevre etkileşimini destekleyen uygulamalar bütünüdür. İç mekânda aydınlatma, kullanıcının çevresini ve çevresindeki unsurları konforlu bir düzeyde algılamasını sağlamak üzere tasarlanmaktadır. Bu teknik bilginin ardında, aydınlatmanın hayatın her alanında var olduğu ve bireyler için temel bir ihtiyaç olduğu yer almaktadır. Bireyler günlük işlerini sürdürmek ve tamamlamak için çoğunlukla ışığa ihtiyaç duyar. Duyuları aracılığıyla günlük işlerini tamamlarlar; ancak görme duyusu diğer duylardan daha önemli ve etkilidir. Görme sistemi sayesinde, iç mekân aydınlatması çevremizi nasıl deneyimleyebileceğimizi destekleyerek çevremizi anlamlandırmamızı ve bilgi edinmemizi sağlar. Aydınlatma, aynı zamanda fiziksel ve psikolojik davranışlarımızı da etkiler. İç mimaride aydınlatmanın temel amaçlarından biri, kullanıcıların günlük aktivitelerini rahatlıkla yapabilecekleri konforlu ve işlevsel alanlar yaratmaktır. İdeal bir iç mekân, insanlarda performansı, konforu, motivasyonu, kişilerarası iletişimi, sağlığı ve refahı artırmaktadır. Konforsuz aydınlatma motivasyon azaltabilir ve görsel yorgunluk, baş ağrısı gibi olumsuz sonuçlar meydana getirebilir. Bu doğrultuda, iyi kalitede aydınlatma tasarımı elde edebilmek için, koşulların bireyler üzerindeki etkilerini analiz eden çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Geçmişten bu yana, kullanıcılar için kaliteli aydınlatma sağlanmış ve günlük yapılan işler sırasında etkileri değerlendirilmiş; görsel performans için iç mekân bazlı en uygun aydınlatma sistemleri araştırılmıştır [1].

Aydınlatmanın iç mekâna dahil edilişi üç şekilde gerçekleşmektedir: doğal, yapay ve doğal ile yapay aydınlatmanın birlikte kullanımı. Doğal aydınlatma kuşkusuz birincil aydınlatma kaynağıdır ve gün batımına kadar iç mekânlara konforlu, estetik ve işlevsel değer sağlamaktadır. Mekânda doğal aydınlatma yeterli olmadığında, istenilen seviyeleri elde etmek için yapay aydınlatma ile desteklenmektedir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte, bireylerin ihtiyaçlarını karşılamak için çeşitli aydınlatma armatürleri üretilmektedir. Flüoresan ve diğer ışık kaynakları yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak LED ve OLED aydınlatma gibi daha yeni teknolojiler, düşük güç tüketimi, kullanım esnekliği ve uzun ömürlü olmaları nedeniyle diğer ışık kaynaklarına göre daha avantajlı hale gelmiştir [2]. OLED, geleneksel seçeneklere göre birçok faydası olan bir katı hal aydınlatma çeşididir. İşlevsel ve kullanımı kolay olduğu kadar zarif de olan birinci sınıf bir ışık kaynağıdır. OLED'in faydaları arasında yüzeylerde parlaklık yapmayan, ultra ince, esnek, konforlu, enerji tasarruflu ve sirkadiyen ritim dostu olması sayılabilir [3, 4]. OLED'lerin çoğu vurgu ışıkları ve duvar apliklerinin yanı sıra kredi kartı, televizyon, telefon ve otomotiv aydınlatma endüstrilerinde kullanılmaktadır. Diğer teknolojik ürünlerle karşılaştırıldığında, OLED aydınlatma kaynaklarının gelecekte iç mekân aydınlatma tasarımında yaygın hale gelmesi kaçınılmazdır.

Teknolojik gelişmelerle birlikte aydınlatma sistemlerinin özellikleri yoğun bir şekilde araştırılmakta ve birçok çalışma ışığın niteliksel ve niceliksel özelliklerine odaklanmaktadır [5]. Işık kaynağının yönü, renk sıcaklığı, renksel geriverim indisi ve aydınlık düzeyi değiştirilerek, bireylerin ihtiyaçlarını karşılamak için çeşitlilik sunan aydınlatma armatürleri üretilmiştir. En önemli nicelik özelliklerinden biri aydınlık düzeyidir. Aydınlık düzeyi, bir yüzeye çarpan ışık miktarını ifade eder. Temel olarak bir şeyin ne kadar aydınlatıldığına bir ölçüsüdür. "Lx" olarak gösterilen aydınlık düzeyi, mekândaki günlük işlerin yerine getirildiği bir çalışma yüzeyinde ölçülen ışık miktarı olarak da tanımlanmaktadır. Çeşitli çalışmalar, aydınlık düzeylerinin kullanıcı performansını, hızını ve konforunu önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir [6]. Her mekân ve içerisinde gerçekleştirilen günlük işlere yönelik uygun aydınlık düzeylerini elde etmek için çeşitli

standartlar kullanılmaktadır. Örneğin, Türk standartlarına göre (TS EN 12464-1), günlük okuma işleri için en uygun aydınlık düzeyi 500 lx'tür [7].

Çalışma ortamlarında insanların üretkenliğini ve performansını analiz etmek için aydınlatma odaklı çeşitli araştırmalar yapılmıştır [8, 9]. Çalışma ortamının değerlendirilmesi doğrudan iş memnuniyeti ile ilgilidir. Sonuç olarak, görsel konfor, performans ve günlük işlerden elde edilen verimlilik, çalışma ortamlarındaki temel kriterlerdir. Bu çalışma ortamlarında okuma, dinleme ve yazma gibi çeşitli günlük işler vardır. Okuma ortamlarındaki aydınlatma koşulları görsel konfor, iş verimi, okuduğunu anlama ve üretkenlikle bağlantılı dış etmenleri desteklemektedir [10]. Okuma ortamındaki aydınlatma kalitesi, okunacak materyal üzerindeki aydınlatma ve göze giren ışık miktarı ile belirlenir. Ayrıca iç mekânda aydınlatma tasarımı, insanların kendilerini sağlıklı ve iyi hissetmelerini sağlamakla birlikte, motivasyonu ve yüksek iş performansını beraberinde getirmektedir [11].

Okuma ortamlarında, aydınlatmadan memnuniyet nitelikli aydınlık, yatay ve düşey aydınlatma oranı, parlaklık ve doğrudan kamaşma olmaması ile ilgilidir [10]. Bu kriterler için uluslararası standartlar mevcuttur. Bununla birlikte, aydınlık düzeyleri için kişiler arası tercihler araştırılmış ve insanların en fazla %50'sinin bir okuma düzleminde 100 lx aydınlık içinde kendilerini rahat hissettikleri bildirilmiştir [12]. Fotios ve Cheal'in (2010) çalışmasında, tercih edilen aydınlık düzeyleri mevcut aydınlık aralıklarının ortalamasına yakın olup, bireylerin tercih ettiği genel aydınlık düzeylerini etkilemektedir [13]. Küller ve Wetterberg (1993), bir laboratuvarında insanların beyin dalgası modellerini incelemiş ve yüksek (1700 lx) ve düşük (450 lx) aydınlık düzeylerinin insanlar üzerindeki etkilerine odaklanmıştır. Sonuç olarak 1700 lx'ün, merkezi sinir sistemi üzerinde uyarıcı bir etkiye neden olduğunu bulmuşlardır [14]. Öte yandan, ışığın renk sıcaklığı bireylerin fizyolojik ve psikolojik ihtiyaçlarında önemli bir role sahiptir. Bireylerin performansı, görsel konforu ve tercihleri üzerindeki etkilerini araştırmak için sıcak beyaz (WW), soğuk beyaz (CW) ve gün ışığı (DL) kullanılmıştır. Sivaji, Shopian, Nor, Chuand ve Bahri'nin (2013) çalışmasında WW 2.700 K, CW 4.000 K ve DL 6.200 K değerleri kullanılmış ve 4.000 K en konforlu renk sıcaklığı olarak bulunmuştur [15].

Hem aydınlık düzeyleri hem de renk sıcaklığı, okuma ortamlarını değerlendirmek için kullanılan aydınlatmanın nicel özellikleridir. Yapay aydınlatma kaynaklarının renk sıcaklığı ve aydınlık düzeyleri doğrudan bireylerin görsel konforu ve performansı ile ilişkilidir [16]. Lee ve diğerleri (2014) tarafından yapılan bir çalışmada, yapay aydınlatma kaynaklarının aydınlık düzeyleri ile renk sıcaklığı arasındaki ilişki ve bunun okuma performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada 500 lx ve 750 lx aydınlık düzeyleri ve 3.000 K, 4.000 K ve 6.500 K olarak üç farklı renk sıcaklıkları dikkate alınmıştır. Okuma işlerini yerine getirirken, 6.500 K - 500 lx ve 4.000 K - 500 lx ve 750 lx'ün konforlu olduğu bulunmuştur. Chang, Chou ve Shieh'in (2013) çalışmasında, farklı aydınlık düzeyleri altında farklı tablet ekranlarından okunarak görsel konfor ve okuma performansı araştırılmıştır. Ekranlarda 1.000 lx ve 1.500 lx'ün görsel konfor sağladığı; 500 lx ve 1.000 lx'ün ortalama olduğu ve 200 lx'ün konforsuz olduğu bulunmuştur [17].

Cinsiyet farklılıkları birçok araştırma alanında yaygın olarak irdelenmiştir. Aydınlatma tercihleri cinsiyetle bazı düşünüldüğünde bireyler arasında farklılıklar göstermektedir. Belcher ve Kluczny'nin çalışması aydınlatma ergonomisi ve karar süreci arasındaki ilişkiyi incelemiştir [18]. Çalışmaları, karar verme sürecinin ruh halinden etkilendiğini ve aydınlık bir ortamın katılımcıların ruh halini ve dolayısıyla karar verme süreçlerini etkilediğini göstermiştir. Genel olarak, kadınların

tepkilerinin erkeklerinkinin tersi olduğunu göstermiştir. Kadınların ruh hali değişimi yüksek aydınlık düzeyinde oluşturulmuş koşullarda güçlü bir şekilde negatif, düşük koşullarda ise pozitifdir. Erkekler ise tam tersi yönde tepki vermiştir. Bu çalışma, ortalama farklılıklar karşılaştırıldığında, erkek katılımcıların kadın katılımcılardan önemli ölçüde farklı olduğunu göstermiştir. Leslie ve Hartleb (1990), aydınlık tercihinde olası cinsiyet farklılıklarına işaret eden bir eğilim bulmuştur (az sayıdaki kadın katılımcı, erkek katılımcılardan çok daha düşük seviyeleri tercih etmiştir) [19]. Ancak Butler ve Biner (1987) tercih edilen ışık seviyesinde sadece iki davranış için (43 davranıştan) cinsiyet farklılıkları bulmuştur: bulaşık yıkamak ve kapalı otoparktan çıkmak [20]. Knez (1995), aydınlığın ve lamba tipinin değiştiği ve hem erkek hem de kadın katılımcılar için ruh hali ve performansın ölçüldüğü iki deney gerçekleştirmiştir [21]. Deneylelerden birinde, gerçek koşullar ne olursa olsun, kadınlar aydınlatmayı erkeklerden daha yoğun ve göz kamaştırıcı olarak değerlendirmiştir. Knez ve Kers (2000) iç mekân aydınlatmasının ve cinsiyetin ruh hali ve bilişsel performans üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Aydınlatma koşulundan bağımsız olarak, kadınların iç mekân aydınlatmasını erkeklerden daha yoğun ve daha göz kamaştırıcı olarak değerlendirdiklerini bulmuşlardır. Özellikle, soğuk ve sıcak beyaz ışıklar kadınlar ve erkekler arasında duygusal olarak farklı algılanmıştır, çünkü farklı lamba türleriyle ışığın rengi farklı anlam ve duygular iletebilir [22]. Doğan Karaman ve Avcı (2022) günün farklı zaman dilimlerinde doğal aydınlatma koşullarının cinsiyet üzerindeki etkileriyle ilgili bir çalışma yürütmüştür [23]. Bu çalışma, çalışma ortamlarında erkek grubunun kadın grubuna göre günlük aydınlık düzeyi değişimlerinde biraz daha rahat hissettiğini göstermiştir. Huang ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ise, LED aydınlatma altında (200 lx ve 600 lx) kadın katılımcıların renk seçimlerinde daha net ve kararlı oldukları bulgusuna ulaşılmıştır [24]. Kadın ve erkeklerin çevrelerini değerlendirme biçimleri arasındaki bu tür farklılıklar olması, aydınlatma tasarımında önemli bir kriterdir.

## **2. DENEY**

### **2.1. Araştırmanın Amacı**

Bu çalışmada OLED aydınlatma, 3 adet görsel konfor kriterini (dikkat dağınıklığı, netlik ve yorgunluk) değerlendirmek için kullanılmıştır. Önceki çalışmalar incelendiğinde, aydınlatma sistemlerinin teknik yönlerine ilişkin önemli araştırmalar yapıldığı görülmektedir. İç mekânda çeşitli kullanıcı kitlelerinin hesaba katılarak aydınlatma sistemlerinin her yönüyle analiz edilmesi ve farklı çalışmaların yapılması gerekmektedir. Bu çalışma ile birlikte, OLED aydınlatma maruz bırakılmış farklı kullanıcı kitlesi ile bu kullanıcıların görsel konforu arasındaki ilişkinin analiz edilmesi hedeflenmiştir.

### **2.2. Katılımcılar**

Katılımcılar Çankaya Üniversitesi İç Mimarlık Bölümü lisans öğrencilerinden oluşmaktadır. 40 lisans öğrencisi 2., 3. ve 4. sınıflardan rastgele seçilmiştir. Öğrenciler 2., 3. ve 4. sınıf öğrencileri olarak, 2. sınıfta aldıkları “İNAR 225” kodlu ve Doğal ve Yapay Aydınlatma” adlı lisans dersi nedeniyle doğal ve yapay aydınlatma hakkında bilgi sahibi olmaları tercih edilmiştir. Gönüllü katılımcılarla iletişime geçildikten sonra test kabine davet edilmiş ve araştırma hakkında bilgilendirilmişlerdir. Katılımcıların 20’si kadın, 20’si erkektir ve yaşları 19 ile 28 arasında değişmektedir. Yaş ortalaması 22.60 ve standart sapma 2.45’tir. 40 katılımcıdan 23’ü ya gözlük ya da kontakt lens kullandığını belirtmiştir.

### 2.3. Deney Ortamı

Deney, Çankaya Üniversitesi Mimarlık Fakültesi'ndeki 15 m<sup>2</sup>' lik bir ofisin içerisinde gerçekleştirilmiştir. Test kabini seçilen ofisin sol köşesinde tasarlanmıştır. Kabinin boyutları 1.60 m x 2.60 m x 2.80 m'dir. Ofisin içerisindeki mobilyalardan dolayı oluşabilecek renk etkisini ortadan kaldırmak için kabinin etrafında beyaz perdeler kullanılmıştır. Duvarda bulunan renkli pano da beyaz bir malzeme ile kaplanmıştır. Böylelikle zemin malzemesi hariç, test kabini içindeki tüm yüzeyler ve mobilyalar beyazdır. Metnin okunması sırasında kabinde beyaz bir masa (1.20 m x 0.80 m x 0.80 m) ve bir tabure kullanılmıştır (**Şekil 1**). Ayrıca, görsel eylemin yapıldığı düzlemin yerden yüksekliği 0.90 m'dir. OLED panellerinin sayısına karar vermek için aydınlatma tasarım programı olan DIALux Evo 7.1 kullanılmıştır. Türk standartlarına göre (TS EN 12464-1), günlük okuma işleri için en uygun aydınlık düzeyi 500 lx'tür [8]. Sekiz adet beyaz OLED (White OLED) panel 500 lx aydınlık düzeyini elde etmek için kullanılmıştır. Aydınlatma seti, asılı lambaları taşımak için beyaz bir çerçeve, sekiz adet WOLED panel ve bunların sürücülerinden oluşmaktadır. Aydınlatma düzeneği dört noktadan zincirlerle asılmış ve yerden yüksekliği 2.20 m'dir. Tüm yapay ışık kaynakları, parlama veya kağıt üzerindeki yansımaları önlemek için tavan seviyesine, masanın ortasına denk gelecek şekilde yerleştirilmiştir [25]. Tüm lambaları yakmak için seri bağlı üç elektrik sistemi tasarlanmıştır. WOLED paneller, aydınlık düzeyi ayarlanabilir bir anahtarla kontrol edilmiştir. WOLED panelleri ve sürücülerini için iki adet adaptör kullanılmıştır. Kabin içindeki aydınlık düzeyi TES 1332A Lüksmetre ile ölçülmüştür. WOLED panellerin ve bu panelleri çalıştıran cihazların teknik özellikleri **Çizelge 1**'de gösterilmiştir.



Şekil 1: Deney ortamı

<i>Model</i>	<i>Philips Lumiblade OLED Panel Brite FL300L WW</i>	<i>Philips Driver D024V 10W/0.1- 0.4A/28V D/A</i>
<i>Ölçü</i>	<i>24.8 cm x 7 cm</i>	<i>5.8 cm x 5 cm</i>
<i>Lümen (lm)</i>	<i>300</i>	
<i>Renk sıcaklığı (CCT)</i>	<i>2900 K</i>	
<i>Renkerimsel geriverim indisi (Ra)</i>	<i>80</i>	

Çizelge 1: Aydınlatma sistemindeki ürünlerin teknik özellikleri

### 2.4. Deney Ekipmanları ve Yöntem

Çalışma, uyanıklık ve uyku hali için önemli olan kortizol (stres hormonu) ve melatonin (uyku hormonu) hormonları nedeniyle sabah saatlerinde gerçekleştirilmiştir. Kortizol ve melatonin, vücudunuzun doğal uyku-uyanıklık döngüsünü düzenlemek için birlikte çalışan iki önemli hormondur. İdeal olarak, kortizol seviyeleri sabahları en yüksek seviyede olmalı ve gün boyunca kademeli olarak azalarak geceleri en düşük noktaya ulaşmalıdır. Melatonin üretimi ise tam tersi bir model izleyerek akşamları artar ve uyku saatlerinde yüksek kalır. Çalışmada sadece yapay



aydınlatmanın etkileri araştırıldığı için, gün ışığının test kabinine girişini engellemek için etrafında beyaz perdeler kullanılmıştır. Çeşitli çalışmalar, uyanık kalınan sürenin, uyku saatlerinin, dışarıda geçirilen zamanın, zaman dilimleri arasında seyahat etmenin, kahve içmenin ve sigara içmenin performansı etkileyen önemli faktörler olduğunu göstermiştir [26, 27]. Deneyden önce tüm katılımcılar yeterli seviyede uyuduklarını, zaman dilimleri arasında seyahat etmediklerini, çalışmadan önce kahve ve sigara içmediklerini beyan etmişlerdir. Uygulanan ankette, 1996 yılında Eklund ve Boyce tarafından oluşturulan “Ofis Aydınlatma Anketi (Office Lighting Survey)” ndeki soruların bir kısmı kullanılmıştır [28]. Bu soruların güvenilirliği istatistiksel olarak belirlenmiştir (Cronbach Alpha = 0.81). Anket iki bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde demografik sorular (yaş, cinsiyet, gözlük ya da lens kullanımı) yer almıştır. İkinci bölümde, 500 lx OLED aydınlatma koşuluna ilişkin görsel konfor kriterlerini değerlendirmek için üç alt başlıktan oluşan tek bir soru vardır. İncelenen görsel konfor kriterleri; görsel dikkat dağınıklığı (visual distraction), görsel netlik (visual clarity) ve görsel yorgunluk (visual fatigue) olarak belirlenmiştir. Metin okurken görsel konfor kriterlerini değerlendirmek için 7’li Likert ölçeği kullanılmıştır. Bazı çalışmalar yazı tipi karakterinin görsel performansı etkilediği ve 12 punto Times New Roman yazı stiline rahat ve okumaya yardımcı olduğu sonucuna varmıştır [29, 30, 31]. Bu nedenle, anket ve okunması istenen metin 12 punto “Times New Roman” yazı tipiyle A4 boyutta beyaz kağıda siyah mürekkeple basılmıştır. Daha sonra, katılımcılar soruları yanıtlamış ve test kabininden çıkmışlardır. Çalışma, bir katılımcı için yaklaşık on dakika sürmüştür.

### 3. BULGULAR

Toplanan verilerin istatistiksel analizi için IBM SPSS Statistics 23.0 yazılımı kullanılmıştır. Verileri normallik açısından değerlendirmek için Shapiro-Wilk testi kullanılmıştır. Maddelerin dağılımı hakkında bazı gözlemler yapmak için ortalama ve standart sapma istatistikleri yapılmıştır. Çarpıklık ve basıklık değerlerinin +3 ile -3 arasında olması normal dağılım için yeterli görülmüştür [32, 33]. Elde edilen sonuçlara göre ölçek puanlarının normal dağılım gösterdiği kabul edilmiştir. Analizlerde parametrik yöntemler kullanılmıştır. Test kabinindeki OLED aydınlatma koşullarına göre Ofis Aydınlatma Anketi bölümü ile örneklem grupları (cinsiyet) arasındaki ilişkiyi araştırmak için “Bağımsız Örneklem T-Testi”nden yararlanılmıştır. Cinsiyete göre, dikkat dağınıklığı kriteri için istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur ( $t(38) = 2.546$ ,  $p = 0.016$ ). Kadın katılımcıların değerlendirmeleri ( $M = 6.35$ ) erkeklerden ( $M = 5.45$ ) biraz daha yüksektir ve görsel dikkat dağınıklığı açısından erkek katılımcılardan biraz daha konforlu hissetmektedirler. Ancak, görsel netlik ( $t(38) = 1.081$ ,  $p = 0.286$ ) ve görsel yorgunluk ( $t(38) = 0.855$ ,  $p = 0.552$ ) açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Erkek katılımcıların değerlendirmeleri ( $M = .90$ ;  $M = 5.35$ ) kadınlardan değerlendirmelerinden ( $M = 5.25$ ;  $M = 4.90$ ) biraz daha yüksektir. **Çizelge 2** bu sonuçları göstermektedir.

**Çizelge 2:** Görsel konfor kriterlerinin cinsiyet ile ilişkisine ait istatistik verileri

<i>Görsel Konfor Kriterleri</i>	<i>p</i>
<i>Dikkat Dağınıklığı</i>	<b><math>p = 0.016</math></b>
<i>Netlik</i>	$p = 0.286$
<i>Yorgunluk</i>	$p = 0.552$

## 4. SONUÇ

Kullanıcı-çevre etkileşimini destekleyen bir uygulama ve enerji olarak aydınlatma, doğal ve yapay aydınlatma kaynakları aracılığıyla çevremizi deneyimlememizi sağladığı için insanoğlu için vazgeçilmezdir. İç mekân içerisinde aydınlatmanın dengesini sağlayan, kullanıcı-çevre arasında arayüz görevi görerek görsel bir bağ kuran aydınlatma sistemlerini, iç mekânda görsel konfor koşullarının sağlanmasına yönelik tasarımlarının titizlikle yapılması gerekmektedir. İç mimaride aydınlatmanın temel amaçlarından biri, kullanıcıların günlük aktivitelerini kolayca yapabilmeleri için konforlu ve işlevsel alanlar yaratmaktır. Aydınlatma, önceleri görmek için bir araç olarak kullanılırken artık iç mimaride insan için en önemli tasarım kriterlerinden biridir. Çevremizi deneyimlememizi sağlar ve fiziksel, fizyolojik ve psikolojik davranışlarımızı etkiler.

Aydınlatma ile ilgili yapılan çalışmalar teknik yönlerine odaklanmıştır; ancak, aydınlatma kaynaklarının aydınlık düzeylerinin görsel konfor ve kullanıcı performansı üzerindeki etkileri, yeni geliştirilen teknoloji olarak OLED aydınlatma odaklı keşfetmek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Bu çalışma, yapay ışık kaynaklarının yeni araştırma alanı olarak katı hal aydınlatma (SSL) kaynağı OLED'e odaklanmaktadır. Görüldüğü gibi, aydınlatma sistemleri okuma ortamlarında görsel konfor ve performans için çok önemlidir. Standartlar, okuma ortamları için görsel konfor parametrelerini tanımlar; ancak farklı kullanıcı ihtiyaçları nedeniyle tercihler değişiklik göstermektedir. Ayrıca, çalışmaya konu olan OLED aydınlatma koşullarının cinsiyet odaklı araştırıldığında görsel konfor kriterleri arasında farklar oluşturduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, yapay aydınlatma altında aydınlık düzeyi için temel tercihlerinde erkekler ve kadınlar arasında önemli bir biyolojik fark olduğunu gösteren sınırlı bilimsel kanıt vardır. Erkeklerin ve kadınların yapay aydınlatmayı nasıl algıladıklarını veya kullandıklarını etkileyen hormonal farklılıklar, aktivite, bazı dolaylı faktörler olabilir. En iyi yaklaşım, ayarlanabilir seçenekler sunan veya çeşitli tercihlere hitap eden iç mekân aydınlatma tasarımları yapmaktır.

## TEŞEKKÜR

Çalışmaya katılan Çankaya Üniversitesi Mimarlık Fakültesi İç Mimarlık Bölümü öğrencilerine teşekkürlerimi sunarım.

## KAYNAKLAR

1. L. Bellia, F. Bisegna, G. Spada, "Lighting in indoor environments: Visual and non-visual effects of light sources with different spectral power distributions", *Building and Environment* **46**, (2011), pp: 1987-1992.
2. B. K. Hawes, T. T. Brunye, C. R. Mahoney, J.M. Sullivan, C.D. Aal, "Effects of four workplace lighting technologies on perception, cognition and affective state", *International Journal of Industrial Ergonomics* (2012), **42**, pp: 122-128.
3. L. Eley, "OLEDs-Lighting's new wave", Guatemala: Bronwen Parsons, (2015).
4. A. Kar, A. Kar, "Advancements in solid state lighting technology for smart and energy efficient illumination system design" *International Conference on Green Computing Communication and Electrical Engineering*, (2014), pp: 1-6.
5. I. H. Shen, K. K. Shieh, C. Y. Chao, D. S. Lee, "Lighting, font style, and polarity on visual performance and visual fatigue with electronic paper displays", *Displays*, (2009), **30**, pp: 53-58.

6. A. N. Avcı, İ. Memikoğlu, “Evaluating effectiveness of LED and OLED lights on user visual comfort and reading performance”, *A|Z ITU Journal of the Faculty of Architecture*, **18**(2), (2021), pp: 397-411.
7. En Az Aydınlik Düzeyleri Tablosu, (2016), Erişim: [http://www.emo.org.tr/ekler/2cf8d98dca2b9de\\_ek.xls?tipi=34](http://www.emo.org.tr/ekler/2cf8d98dca2b9de_ek.xls?tipi=34)
8. A. N. Avcı, “Circadian lighting design: Effects of OLED lighting conditions on visual comfort and well-being in an indoor office environment”, Doktora Tezi, Çankaya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Ankara, (2022).
9. A. N. Avcı, S. Akbay, “Visual comfort assessment of OLED lighting in an indoor office environment”, *GRID-Architecture Planning and Design Journal*, **5**(2), (2022), pp: 129-143.
10. A. Borisuit, F. Linhart, J. L. Scartezzini, M. Münch, “Effects of realistic daylighting and electric lighting conditions on visual comfort, alertness and mood”, *Lighting Research and Technology*, **47**, (2015), pp: 192-209.
11. W. J. M. Bommel, G. J. Beld, “Lighting for work: A review of visual and biological effects”, *Lighting Research and Technology*, **36**(4), (2004), pp: 255-269.
12. G. R. Newsham, J. A. Veitch, “Lighting quality recommendations for VDT offices: A new method of derivation”, *Lighting Research and Technology*, **33**, (2001), pp: 97-116.
13. S. A. Fotios, C. Cheal, “Stimulus range bias explains the outcome of preferred-illuminance adjustments”, *Lighting Research and Technology*, **42**, (2010), pp: 433-447.
14. R. Küller, L. Wetterberg, “Melatonin, cortisol, EEG, ECG and subjective comfort in healthy humans: impact of two fluorescent lamp types at two light intensities”, *Lighting Research and Technology*, **25**(2), (1993), pp: 71-80.
15. A. Sivaji, S. Shopian, Z. M. Nor, N. K. Chuan, S. Bahri, “Lighting does matter: Preliminary assessment on office workers”, *Social and Behavioral Sciences*, **97**, (2013), pp: 638-647.
16. J. H. Lee, J. W. Moon, S. Kim, “Analysis of occupants’ visual perception to refine indoor lighting environment for office tasks”, *Energies*, **7**, (2014), pp: 4116-4139.
17. P. C. Chang, S. Y. Chou, K. K. Shieh, “Reading performance and visual fatigue when using electronic paper displays in long-duration reading tasks under various lighting conditions”, *Displays*, **34**, (2013), pp: 208-214.
18. M. C. Belcher, R. Kluczny “Lighting Ergonomics and the decision process”, Proceedings of ASEM, (1987), 51-55.
19. R. P. Leslie, S. B. Hartleb, “Human response and variability in the luminous environment”, Proceedings of CIBSE National Lighting Conference, (1990), pp: 87-99.
20. D. L. Butler, P. M. Biner, “Preferred lighting levels: Variability among settings, behaviors, and individuals”, *Environment and behavior*, **19**(6), (1987), pp: 695-721.
21. I. Knez, “Effects of indoor lighting on mood and cognition”, *Journal of environmental psychology*, **15**(1), (1995), pp: 39-51.
22. I. Knez, C. Kers, “Effects of indoor lighting, gender, and age on mood and cognitive performance”, *Environment and Behavior*, **32**(6), (2000), pp: 817-831.
23. G. Doğan Karaman, A. N. Avcı, “Analyzing natural lighting conditions from the perspective of biophilic design in indoor office environments”, *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* **1099**(1), (2022), p. 012034.
24. Z. Huang, Q. Liu, Y. Liu, M. R. Pointer, A. Liu, P. Bodrogi, T. Q. Khanh, “Gender difference in colour preference of lighting: a pilot study”, *Light & Engineering*, **28**(4), (2020), pp: 111-122.

25. F. Ferlazzo, L. Piccardi, C. Burattini, M. Barbalace, A.M. Giannini, F. Bisegna, “Effects of new light sources on task switching and mental rotation performance”, *Journal of Environmental Psychology*, **39**, (2014), pp: 92-100.
26. K. C. H. J. Smolders, Y. A. W. de Kort, P. J. M. Cluitmans, “A higher illuminance induces alertness even during office hours: Findings on subjective measures, task performance and heart rate measures”, *Physiology & Behavior*, **107**, (2012), pp: 7-16.
27. N. H. Eklund, P. R. Boyce, “The development of a reliable, valid, and simple office lighting survey”, *Journal of the Illuminating Engineering Society*, **25**(2), (1996), pp: 25-40.
28. I. H. Shen, K. K. Shieh, C. Y. Chao, D. S. Lee, “Lighting, font style, and polarity on visual performance and visual fatigue with electronic paper displays”, *Displays*, **30**, (2009), pp: 53-58.
29. L. Fortunati, J. Vincent, “Sociological insights on the comparison of writing/reading on paper with writing/reading digitally”, *Telematics and Informatics*, **32**, (2014), pp: 39-51.
30. Q. Wang, X. Haisong, R. Gong, J. Cai, “Investigation of visual fatigue under LED lighting based on reading task”, *Optics*, **126**, (2015), pp: 1433-1438.
31. R. A. Groeneveld, G. Meeden, “Measuring skewness and kurtosis”, *Journal of the Royal Statistical Society: Series D*, **33**(4), (1984), pp: 391-399.
32. K. D. Hopkins, D. L. Weeks, “Tests for normality and measures of skewness and kurtosis: Their place in research reporting educational and psychological measurement” **50**(4), (1990), p: 717729.

## **TASARIM ALANI KEŞFİNDE ÜÇ FARKLI VEKİL MODELİN ETKİNLİK DÜZEYİNİN İRDELENMESİ**

Ayşe Rüya Efe<sup>1</sup>  
Suzy Dilara Mangan<sup>2</sup>  
YTÜ Mimarlık Fakültesi  
Yıldız, Beşiktaş, İstanbul, 34349

### **ÖZET**

*Yinelemeli deneme-yanılma yönteminin esas alındığı mevcut bina üretim sürecinde, bina performans hedeflerinin daha iddialı bir düzeye gelmesi beraberinde olası çözümlerin sayısını ve karmaşıklık düzeyini artırmakta ve dolayısıyla farklı tasarım alternatiflerinin değerlendirilmesini daha zorlu bir hale getirmektedir. Bu nedenle bu çalışmada, bina sektöründe performans tabanlı bina üretimine doğru bir geçişin gerçekleştirilebilmesi için karar verme sürecine hızlı ve etkin geri bildirim sağlayacak bir yaklaşımın geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç çerçevesinde, farazi bir yerleşme dokusu içerisinde tipik çok aileli bir apartman bloğu için bina kabuğu, enerji sistemleri ve yenilenebilir enerji sistemleri açısından farklılaşan tasarım alternatiflerini içeren geniş bir tasarım alanı, veri seti olarak kullanılmıştır. Bu veri seti için farklı algoritmalara dayalı üç tahmin modeli (Destek Vektör Makineleri (DVM), Sınıflandırma ve Regresyon Ağacı Tekniği (SRA) ve Rastgele Orman (RO)) kullanılarak bina performans tahmin analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sonucunda elde edilen bulgular ile geniş tasarım alanı içerisinde rastlantısal bir şekilde oluşturulan küçük bir örneklem veri kümesi ile eğitilen modellerin tahmin sürelerinin tekil olarak gerçekleştirilen simülasyon sürelerine göre çok daha kısa olduğu ve yüksek doğruluk düzeyi ile tahmin yapılabildiği desteklenmiştir.*

*Anahtar sözcükler: Bina performans simülasyonu, Makine öğrenmesi, Bina enerji performansı tahmini, Vekil model*

### **ABSTRACT**

*The iterative trial and error method is often encountered in the current building production process. As building performance targets become more ambitious, the number and complexity of possible solutions increase; thus, evaluating different design alternatives becomes more challenging. Therefore, this study aims to develop an approach that will provide fast and effective feedback to the decision-making process to transition toward performance-based building production. For this purpose, a wide design space containing different design alternatives in terms of building envelope, energy systems, and renewable energy systems for a typical multi-family apartment block within a hypothetical settlement pattern was used as a data set. Building performance prediction analyses were conducted for the data set using three prediction models based on different algorithms (Support Vector Machines (SVM), Classification and Regression Tree (CART), and Random Forest (RF)). A small sample data set is randomly generated from a high-dimensional design space to train the models. As a result of the analysis, the trained models' prediction times were much shorter than the simulation times performed individually, with high accuracy.*

*Keywords: Building performance simulation, Machine learning, Building energy performance prediction, Surrogate model*

<sup>1</sup>e-posta adresi: ayseruyaaksu@gmail.com

<sup>2</sup>e-posta adresi: sdmangan@yildiz.edu.tr

## 1.GİRİŞ

Dünya genelinde yüksek enerji tüketiminin gerçekleştiği bina sektöründe, süregelen hâkim bina üretim paradigmasının performans tabanlı bina tasarımına doğru evrilmesi ile uzun vadeli küresel enerji güvenliğine ciddi düzeyde katkı sağlanacağı açıktır. Bu bağlamda, bina üretiminde performans tabanlı tasarıma geçiş ile bina performansı üzerinde etki düzeyi yüksek olan yerleşme, bina ve bileşen ölçeğindeki tasarım parametrelerine ilişkin kararların erken tasarım evresinde alınması çok önemlidir [1]. Ancak, pek çok farklı tasarım parametresine dayalı olarak geliştirilen geniş tasarım alanlarının karmaşıklık düzeyi gittikçe artmakta ve dolayısıyla, tasarım alanının etkin bir şekilde keşfedilerek yüksek performans hedeflerini sağlayan tasarım alternatiflerinin değerlendirilmesi süreci de daha zorlu bir hale gelmektedir [2].

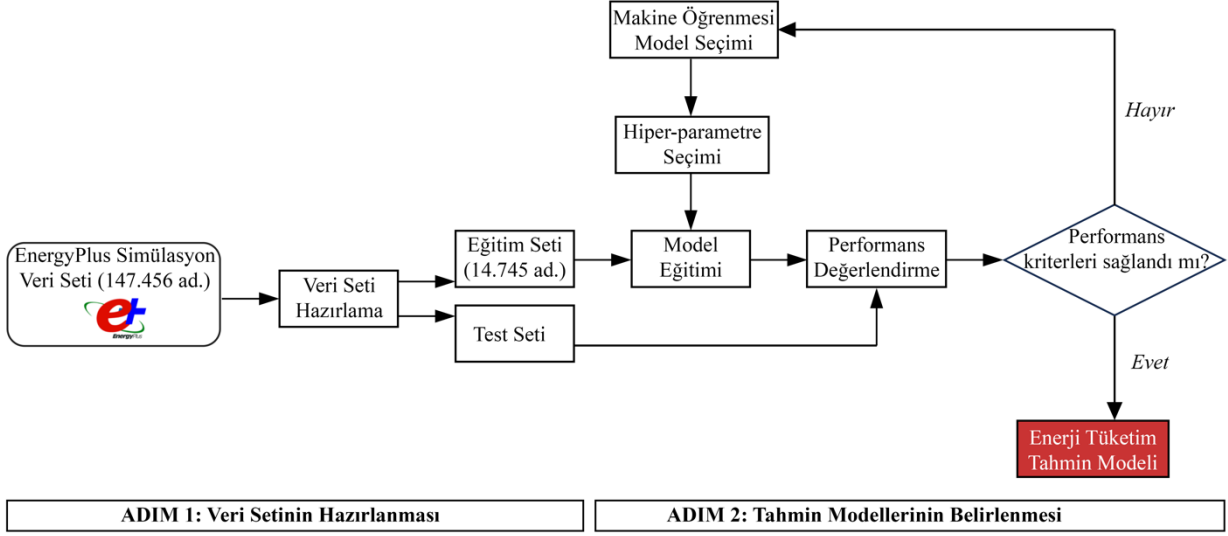
Bu zorlukların aşılabilmesinde bina performansı üzerinde erken tasarım kararlarının etki düzeylerinin belirlenmesi ile karar verme sürecinin en iyi şekilde bilgilendirilmesini sağlayacak Bina Performans Simülasyonlarının (BPS) kullanımı önemli bir etki alanına sahiptir [1]. Ancak, BPS'nin karar verme sürecine entegrasyonunda dikkate alınması gereken en önemli husus, elde edilen geniş tasarım alanının milyonlarca simülasyon gerçekleştirilerek keşfedilmesi gerekliliği ve bu gerekliliğin getirdiği uzun hesaplama yüküdür. 'Boyutsallığın laneti' [2] olarak adlandırılan bu sorunun çözümünde ise, yaygın olarak vekil modeller kullanılmaktadır [3-6]. Simülasyon modelinin bir meta modeli olarak da ifade edilen vekil modeller [4], simülasyon verilerinden oluşan girdi ve çıktı parametreleri arasındaki ilişki tanımlanmamış olsa da bilinmeyen kombinasyonlar için çıktı değişkenlerinin değerlerini Denetimli Makine Öğrenmesi (MÖ) yöntemlerini kullanarak tahmin edebilmektedir. MÖ algoritmaları bir kara kutu gibi çalışmaktadır [5]. Diğer bir deyişle, bina sistemleri hakkında hiçbir bilgiye ihtiyaç duymaz iken mevcut veya genellikle yüksek hesaplama süresine sahip simülasyon verilerinden yararlanarak çeşitli parametrelerin hangi değerleri alabileceğini yüksek doğruluk seviyesi ile birlikte çok kısa sürede ( $< 0,1s$ ) tahmin edebilmektedir [6].

Bu bağlamda, tasarım alanlarının keşfine yönelik vekil modellerin etkinlik düzeylerini irdeleyen çalışmalar literatürde mevcuttur. Melo ve diğerleri [7], bir ofis binasının yıllık soğutma talebini tahmin etmek amacıyla EnergyPlus programı kullanılarak elde edilen simülasyon sonuçlarına dayalı vekil modeller oluşturmuş, başta Rastgele Orman ve Destek Vektör Makineleri olmak üzere 4 farklı yöntem ile tasarım alanının keşfini gerçekleştirmişlerdir. Chou ve diğerleri [8], enerji etkin bina tasarımı için ısıtma ve soğutma yüklerini Sınıflandırma ve Regresyon Ağacı, Destek Vektör Makineleri algoritmaları başta olmak üzere 3 farklı yöntem kullanarak tahmin etmiştir. Tian ve diğerleri [9] ise, erken tasarım evresinde, bina formu ile performans ilişkisini analiz edebilmek amacıyla soğuk iklimde yer alan bir ofis binası için gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarına dayalı vekil modeller oluşturmuşlardır. Geliştirilen tasarım alanı, Destek Vektör Makineleri, Rastgele Orman algoritmalarının da içinde bulunduğu 5 farklı yöntem kullanılarak irdelenmiştir.

Bu çalışmada da, bina sektöründeki performans tabanlı bina üretim sürecine pozitif katkı sağlayabilmek için BPS yöntemi esas alınarak geliştirilmiş geniş bir tasarım alanının keşfinde vekil modelleme tekniklerinin etkinlik düzeylerinin irdelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç çerçevesinde, 13 farklı tasarım parametresine dayalı 147.456 adet tasarım alternatifinden oluşan geniş bir tasarım alanının keşfi, en yaygın kullanılan üç MÖ modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Böylelikle, bina performansı üzerinde erken tasarım kararlarının etki düzeylerinin nasıl hızlı ve etkin bir şekilde değerlendirilebileceği, İstanbul ili için gerçekleştirilen vaka çalışması aracılığıyla sunulmuştur.

## 2. YÖNTEM

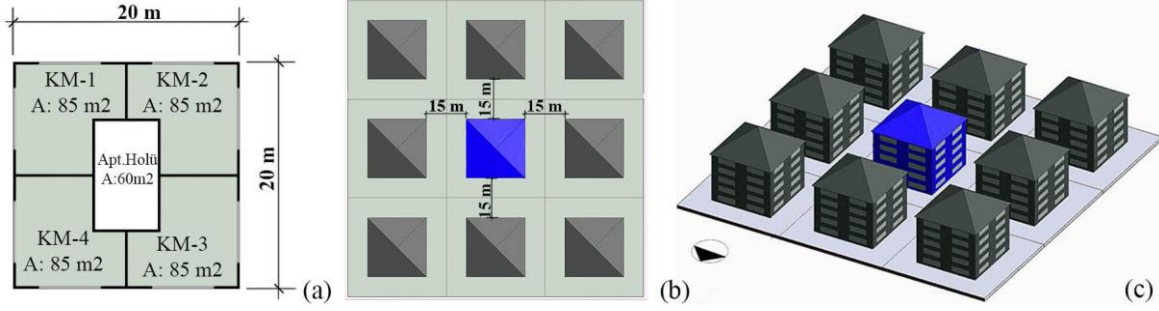
Tasarım alanı keşfinde, bina enerji simülasyon sonuçlarına dayalı olarak MÖ yöntemleri ile üç farklı vekil modelin oluşturulmasına ve bu modellerin etkinlik düzeyinin irdelenmesine yönelik bir iş akışı önerilmiştir (**Şekil 1**). İş akışına ilişkin adımlar, vaka çalışması aracılığıyla ayrıntılı olarak aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 1: Önerilen iş akışının çerçevesi

### 2.1. Adım 1: Veri Setinin Hazırlanması

Veri setinin hazırlanması kapsamında, sentetik veriler (BPS sonuçlarına dayalı) ve gerçek veriler (ölçüm sonuçlarına dayalı) girdi verisi olarak da kullanılabilir [5]. Bu çalışma kapsamında BPS sonuçlarına dayalı olarak hazırlanmış veri seti esas alınmıştır. Veri seti, sabit bir geometriye sahip (yerleşme ve bina ölçeğinde) bir konut binası için, bina kabuğu (8 tasarım parametresi), enerji sistemleri (4 tasarım parametresi) ve yenilenebilir enerji sistemlerine (1 tasarım parametresi) ilişkin 13 tasarım parametresine dayalı olarak geliştirilmiş 147.456 adet tasarım alternatifinden oluşmaktadır. Ayrık yerleşme formu (H/W:1,00 ve yönlenme:90° [10]) içerisinde yer alan kare tabanlı beş katlı konut yapıları için farklı tasarım parametrelerinin bina performansı üzerindeki etkisinin belirlenmesine yardımcı olmak amacıyla EnergyPlus ve MATLAB®'in birlikte çalışmasına dayalı bir parametrik simülasyon yöntemi esas alınmıştır. Tüm bu simülasyonların otomatikleştirilmiş olarak yaklaşık 60 saat içerisinde gerçekleştirilmesi ile tüm alternatifler için performans göstergesi olarak birincil enerji tüketim değeri (kWh/m<sup>2</sup>-yıl) hesaplanmıştır. Şekil 2'de model konut binasına ilişkin kat planı, yerleşme dokusu planı ve aksonometrik görünümü verilmiş olup, model binası ve esas alınan simülasyon yöntemine ilişkin detaylı bilgilere, Mangan [11] tarafından gerçekleştirilmiş çalışma incelenerek elde edilebilir.



Şekil 2. Model binasına ilişkin kat planı (a) ve yerleşme dokusu planı (b) ve aksonometrik görünümü (c)

Çalışma kapsamındaki veri seti formatı, tasarım parametrelerini girdi ve simülasyonlardan elde edilmesi hedeflenen performans göstergelerini (birincil enerji tüketimi) ise çıktı olarak kaydetmektedir. Bina performans çalışmalarında düzenlenen veri setlerindeki girdi parametreleri genellikle ayrıık verilerden (*her parametrenin sonlu bir değer kümesiyle tanımlanması*) oluşmakta [12] ve böylelikle tanımlı parametre aralıklarına bağlı olarak belirli tasarım alternatiflerinin (kombinasyon kümesi) oluşması söz konusudur [13]. Bu çalışmada esas alınan veri setindeki girdi parametreleri de ayrıık veriler (Çizelge 1) olup tam faktöriyel örnekleme yöntemi esas alınarak tasarım alternatifleri geliştirilmiştir. Sonraki adımda, bu veri seti, eğitim ve test setleri olarak iki ayrı sete ayrılmıştır. Eğitim seti için veri setinden rastgele bir alt küme ele alınmış olup bu alt kümenin oluşturulması için mevcut veri setinin sadece %10'luk (14.745 adet tasarım alternatifine ilişkin girdi (tasarım parametreleri) ve çıktı (performans göstergesi) değerleri) kısmının kullanılması yeterli görülmüştür. Böylelikle, tüm tasarım alanının keşfi için gereksinim duyulan yüksek hesaplama yükü, küçük eğitim alt kümesi ile eğitilen vekil modeller aracılığıyla minimize edilebilmiştir.

## 2.2. Adım 2: Tahmin Modellerinin Belirlenmesi

İkinci adım kapsamında, MÖ algoritmaları ile oluşturulmuş tahmin modelleri kullanılarak bina performans hesaplamaları yapılmaktadır. Bina performans hesaplamasında kullanılan modellerin tahmin doğruluğu, hesaplama verimliliği, kullanım kolaylığı ve sağlamlık gibi pek çok açıdan değişkenlik gösterdiği bilinmektedir. Her veri setine uygun genel bir yöntemin mevcut olmaması [2,14] ve her bir tahmin modelinin potansiyel ve kısıtlamalarının farklılaşmasından dolayı, erken evre performans tahmin hesaplamasında birden fazla tahmin modelinin kullanılması önerilmektedir [6]. Bu çalışmada da tasarım alanı keşfinde yaygın olarak kullanılan Destek Vektör Makineleri (DVM) ve Karar Ağacı Algoritmalarından ise Sınıflandırma ve Regresyon Ağacı (SRA) ve Rastgele Orman (RO) algoritmaları esas alınmıştır. Algoritmalara ilişkin açıklamalar, aşağıda verilmiştir.

*Destek Vektör Makineleri (DVM):* Doğrusal olarak ayrılabilen sınıflandırma problemlerini yaygın olarak ele alan bir denetimli makine öğrenmesi yöntemidir. Öte yandan, veriler doğrusal olarak ayrılabilen bir düzlemde değilse bile Kernel (çekirdek) yöntemlerini kullanarak çok boyutlu uzayda doğrusal bir ayırım sağlayabilme yeteneğine de sahiptir. Ancak, boyut arttıkça çözüm süreleri de artış göstermektedir [5]. Bu çalışmada, yaygın olarak kullanılan Radyal Tabanlı Fonksiyon (RBF) çekirdeği veri seti karmaşıklığına iyi bir çözüm olanağı sunduğu [4,14] için tercih edilmiştir.



**Çizelge 1:** Veri seti girdi parametrelerinin özellikleri

<b>Girdi Parametreleri</b>		<b>Parametre aralığı</b>	
Bina kabuğu	p1. Dış duvar	p1.1 Gövde malzemesi	Yatay Delikli Tuğla / Gaz Beton
		p1.2 Isı yalıtım tipi	Ekstrude Polistren Kopuk (XPS)/ Tas Yunu (SW)
		p1.3 Isı yalıtım kalınlığı	0,04, 0,10, 0,16, 0,22 m
	p2. Çatı	p2.1 Isı yalıtım tipi	XPS / SW
		p2.2 Isı yalıtım kalınlığı	0,10, 0,16, 0,22, 0,28 m
	p3. Zemine oturan döşeme	p3.1 Isı yalıtım kalınlığı	0,04, 0,10, 0,16, 0,22 m
	p4. Pencere	p4.1 Cam tipi	Low-E (ısı kontrol) (4 +12 hava + 4 mm)
			Low-E (ısı kontrol) (4 +12 argon + 4 mm)
	p5. Güneş kontrol elemanı	p5.1 Güneş kontrol tipi	Low-E (ısı +güneş kontrol) (4 + 12 argon + 4 mm)
			Low-E (ısı + güneş kontrol) (4 +16 argon +4 + 16 argon + 4 mm)
Enerji sistemleri	p6. Isıtma sistemi	p6.1 Verimlilik değeri ( $\eta$ )	0,86, 0,95 (yakıt tipi: doğalgaz)
	p7. Soğutma sistemi	p7.1 Verimlilik değeri (SEER)	5,80, 8,50 (yakıt tipi: elektrik)
	p8. Isıtma-soğutma sistemleri	p8.1 Sistem tipi	HKIP (Isıtma <sub>SCOP</sub> :3,29; soğutma <sub>SCOP</sub> : 2,25) /
			VRF sistemi (Isıtma <sub>SCOP</sub> :7,20; soğutma <sub>SCOP</sub> : 4,20) (yakıt tipi: elektrik)
p9. Sıcak su sistemi	p9.1 Verimlilik değeri ( $\eta$ )	0,86 (bireysel su ısıtıcı) / 2,41 (sıcak su boiler) (yakıt tipi: elektrik)	
Yenilenebilir enerji sistemi	p.10.Fotovoltaik sistem	P10.1 Çatıya entegre PV sistem	mevcut (250Wp tek kristal silikon güneş paneli, $\eta_{modül}$ : %15, $\eta_{inverter}$ :%95) / mevcut değil

**Karar Ağacı Algoritmaları:** Ağaç yapısı görünümünde olan gerek regresyon analizleri gerekse sınıflandırma işlemleri için kullanılan denetimli makine öğrenmesi algoritmasıdır. Bir karar ağacında, en tepede görülen düğüm, kök düğüm olarak adlandırılır. Kök düğüm, veri seti parametreleri arasındaki ilişkilere göre küçük parçalara ayrılarak ilerler ve karar düğümleri yardımıyla ağaç yapısının alt dallarını oluşturur. Karar düğümü, bir veya birçok alt dala ayrılabilir. Bölünme işlemi belirli bir kriter karşılanana kadar tekrarlanır ve sonuçta da bir yaprağa ulaşılır. Yaprak değeri, tahmin edilen model değerini temsil etmektedir [15]. Bina performans tahmini çalışmalarında en yaygın kullanılan karar ağacı yöntemleri, Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçları (SRA) ve Rastgele Orman (RO) algoritmalarıdır.

**SRA**, karmaşık bir veri setini basit birkaç karara indirgeyebilen ve yorumlanabilir olmasına imkân veren esnek ve hızlı bir algoritmadır [2]. Daha yalın bir model olmasına karşın oldukça yüksek düzeyde performans göstermektedir [15]. SRA modeli, her bir düğümde ağacı sadece iki alt dala ayırmaktadır. Her kök düğüm bir girdi parametresini, yaprak düğümü ise tahmin modelini (çıkı parametresi) içermektedir. Ağaçların kolayca görselleştirilmesi ve tahmin modeli eğitim süresinin

oldukça kısa olması bu algoritmanın kullanım potansiyelini arttırmaktadır. Fakat verilerin gereğinden fazla uyum sağlama (ezberleme) eğilimi de dezavantajı olarak görülmektedir [2]. Bu çalışmada esas alınan SRA modeli, ANOVA (Varyans Analizi) yöntemini kullanarak bir karar ağacı oluşturmuştur.

RO, birçok karar ağacını birleştiren [2], topluluk öğrenmesi adı verilen bir prensiple çalışmaktadır [16]. Diğer bir deyişle, birden fazla karar ağacı rastgele örnekler ile birbirinden bağımsız olarak eğitilerek kendi tahminini yapmakta ve ardından algoritma bu tahminleri birleştirerek nihai sonucu belirlemektedir. Bu tahmin modeli kapsamında birden fazla SRA modeli birleştirildiği için daha yüksek model performansı elde edilmekte ve optimum sonuca ulaşılmaktadır [15]. Karar ağaçları bazında RO algoritmasının üstünlük sağladığı hususlar, her bir ağaç yapısının farklı veriler üzerinde eğitilmesi sebebiyle verilerin gereğinden fazla uyum sağlamasını (ezberleme) önlemesi ve böylelikle tahmin sonuçlarının daha fazla tutarlılık göstermesi iken [16] karmaşıklığı, büyük veri setleri bazında yüksek hesaplama süresi ve tek bir karar ağacında olduğu gibi süreci görselleştirememesi hususları ise, sınırlılık olarak görülebilmektedir [2].

Modelin daha iyi tahmin performansı sağlaması için bir diğer önemli aşama ise, modelin kendi optimizasyonunun gerçekleştirilmesidir. Bu bağlamda, her MÖ algoritmasının öğrenme sürecini yöneten farklı hiper-parametreler bulunmakta ve bu parametrelerin ayarlanması gerekmektedir. DVM modelinde Cost [14], RO modelinde mtry hiper-parametresi kullanılmıştır [16]. Bu çalışmada mtry hiper-parametresini belirlemek için 10 kat çapraz doğrulama kullanılmıştır. Çapraz doğrulama, tahmin modelinin eğitim sırasında model tarafından görülmeyen belirli örnekler ne kadar iyi uygulandığının değerlendirilmesi ve model optimizasyonunun aşırı uyumunun (ezberleme) önlenmesi için de kullanılmaktadır [3,4].

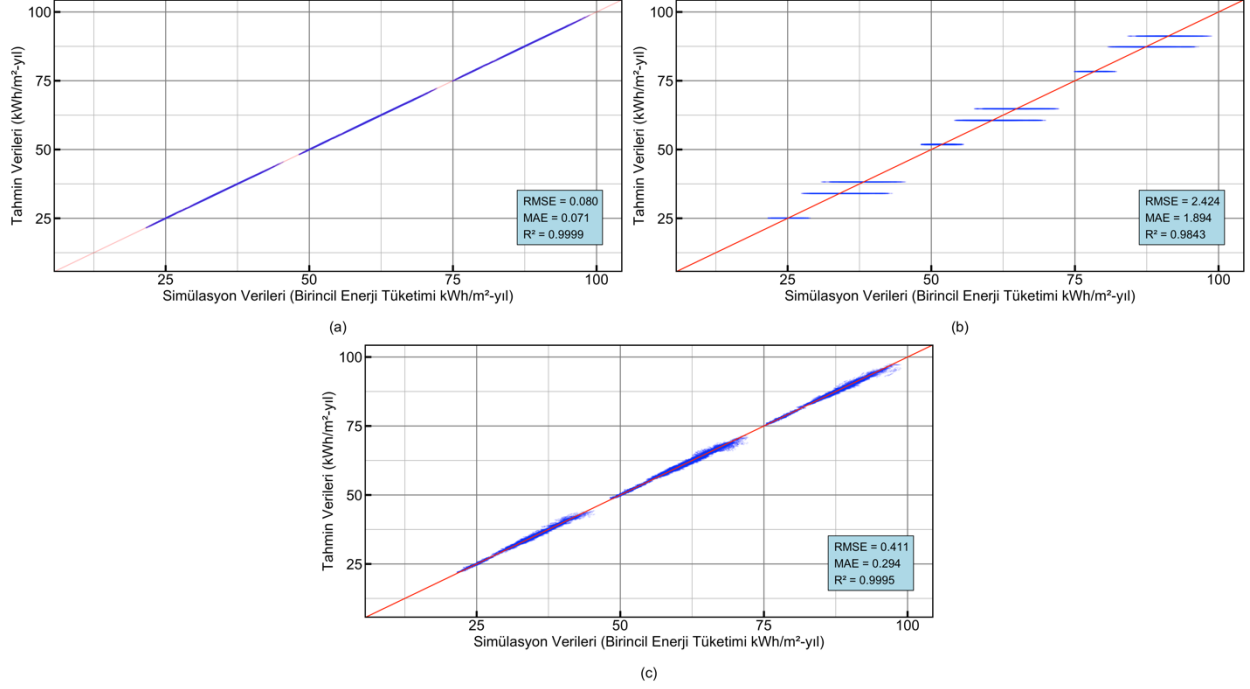
Son olarak, model performansı hesaplanarak modelin ne derecede iyi tahmin değerleri oluşturduğu belirlenmektedir [6]. Vekil modellerin performansı ve doğruluğu test verileri kullanılarak değerlendirilmekte ve farklı performans metrikleri ile ölçülmektedir. Bu çalışmada, tahmin modellerinin değerlendirilmesi için ortalama karekök hata (Root Mean Square Error-RMSE), ortalama mutlak hata (Mean Absolute Error-MAE), ve belirleme katsayısı (R kare- $R^2$ ) kullanılmıştır. Yüksek bir  $R^2$  değeri, tahmin edilen değerlerin gözlemlenen değerlere mükemmel şekilde uyum sağladığını göstermektedir.  $R^2$  değerinin bire yakın olması ve modelin RMSE ve MAE değerlerinin ise sifıra yakın olması performansının yüksek olduğunu belirtmektedir [2]. Performans değerlendirme sürecinde kriterlerin sağlanamadığı durumlarda model veya hiper-parametrelerin seçiminin düzenlenmesi ile eğitim yeniden başlatılabilmektedir. Aynı prosedür tekrarlandığında nihai olarak kriterlerin sağlanması durumunda enerji tüketim tahmin modeline ulaşılmaktadır. Performans değerlendirmesi ve MÖ modelleri RStudio programı kullanılarak oluşturulmuştur.

### 3. BULGULAR

Tasarım alanının keşfi için DVM, SRA ve RO olmak üzere üç farklı makine öğrenmesi modeli kullanılmıştır. Esas alınan iş akışı çerçevesinde elde edilen bulgular, Çizelge 2'de, bina performans tahmin değerleri ile simülasyon sonuçlarının ilişkisi ise, karşılaştırmalı olarak Şekil 3'te verilmiştir.

**Çizelge 2:** Makine öğrenmesi modeli sonuçları

	<b>DVM</b>	<b>SRA</b>	<b>RO</b>
<b>R<sup>2</sup></b>	0.9999	0.9843	0.9995
<b>RMSE</b>	0.080	2.424	0.411
<b>MAE</b>	0.071	1.894	0.294
<b>Tahmin Süresi (Tekil Simülasyon)</b>	0.13 ms	0.7 $\mu$ s	0.06 ms



**Şekil 3:** Bina enerji performans değerlendirme için simülasyon değerleri ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişki  
a) Destek Vektör Makineleri b) Sınıflandırma ve Regresyon Ağacı c) Rastgele Orman

**Çizelge 2,** üç farklı MÖ algoritması ile oluşturulan tahmin modellerinin performans metriklerini ve tekil simülasyon için tahmin süresini göstermektedir. Bu bağlamda, DVM modeli belirleme katsayısı  $R^2=0.9999$  ile en yüksek değere sahipken, RO modeli  $R^2=0.9995$  değeri ile modele çok yakın bir performans göstermiştir. DVM modelinin tahmin süresi (0.13ms), RO modelinin (0.06 ms) tahmin süresine kıyasla nispeten daha uzun bulunmuştur. SRA modeli ise  $R^2=0.9843$  ile en düşük belirleme katsayısı değeri elde etmesine karşılık 0.7  $\mu$ s ile en hızlı tahminin yapıldığı tahmin modeli olmuştur. Tahmin sürelerinin tekil olarak gerçekleştirilen bina enerji simülasyon sürelerine göre çok daha kısa sürdüğü ve yüksek doğruluk düzeyi ile tahmin yapılabildiği tablodaki değerler ile desteklenmiştir. **Şekil 3'**te simülasyon sonuçları ile tahmin edilen değerler arasındaki ilişkiyi görselleştirmek için kullanılan saçılma diyagramları bulunmaktadır. DVM modeli, diğer modellere göre daha iyi bir uyum göstermiştir. RO modeli ise, SRA modeline göre sürekli bir dağılım sağlamıştır.

## 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, detaylı dinamik bina enerji simülasyon sonuçlarına dayalı bir veri setinden yararlanılarak farklı tasarım alternatifleri için performans göstergesinin (birincil enerji tüketimi (kWh/m<sup>2</sup>-yıl)) hızlı ve doğru bir şekilde tahmin edilmesi amacıyla üç yaygın MÖ yöntemi kullanılmış ve bu yöntemlerin konut enerji performansı üzerindeki etkinlik düzeyi karşılaştırmalı olarak vaka çalışması aracılığıyla sunulmuştur.

Vaka çalışması kapsamında farazi bir yerleşme dokusu içerisinde tipik çok aileli bir apartman bloğu için bina kabuğu, enerji sistemleri ve yenilenebilir enerji sistemleri açısından farklılaşan tasarım alternatifleri dikkate alınmıştır. İlgili parametrelere dayalı olarak olası tüm kombinasyonların tam faktöriyel örneklem yöntemi ile oluşturulması beraberinde yüksek hesaplama yükü sorunu gündeme getirmektedir. Bu soruna çözüm olarak her ne kadar mevcut veri setinin oluşturulması sürecinde otomatikleştirilmiş paralel parametrik enerji simülasyonları gerçekleştirilmiş olsa da hesaplama yükü yine yüksektir. Bu nedenle, çok boyutlu tasarım alanlarının üç farklı MÖ yöntem kullanılarak oluşturulan vekil modeller ile daha kısa bir sürede ve aynı etkinlikte ( $R^2 > 0,99$ ) keşfedilmesinin mümkün olduğu bu çalışmada test edilerek belirlenmiştir. Elde edilen bulgulara dayalı olarak MÖ modellerinin bina performans tahminindeki etkinliğinin oldukça yüksek düzeyde olduğu söylenebilir iken bu yaklaşım çerçevesinde bina enerji vekil modellerinin sentetik veriler ile eğitildiğinin de vurgulanması ayrıca önemlidir. Dolayısıyla, modellerin doğruluğu hiçbir zaman kesin olmamakla birlikte esas alınan mevcut veri setinin sınırlılıkları çerçevesinde doğru olduğu varsayımı yapılabilir.

Öte yandan, bu çalışma ile Denetimli Makine Öğrenmesi aracılığıyla geliştirilen vekil modellerin tasarım alanı keşfinde kullanımının yaygınlaşmasına yönelik pozitif bir katkı sağlanmıştır. Bu bağlamda, tasarım alanı keşfine yönelik vekil modellerin eğitilmesinde kullanılan veri seti, yerleşme dokusu içerisindeki bir binanın performansı üzerinde anahtar rol oynayan bina kabuğu, enerji sistemleri ve yenilenebilir enerji sistemlerini dikkate alan geniş bir tasarım alanından oluşmaktadır. Ancak, veri seti yerleşme, bina, bina elemanı gibi farklı ölçeklerdeki tasarım parametrelerinin bütüncül ele alınması, kentsel elemanlar (sokak, yeşil alan, ulaşım gibi) ve binaların farklı konfigürasyonlarına dayalı geliştirilen yerleşme dokuları içerisindeki bina enerji modeline mikro iklim koşullarının entegre edilmesi ve beraberinde enerji, ekonomik ve iç/ dış ortam konfor koşulları açısından gerek yerleşme dokularının gerekse konut binalarının potansiyellerinin değerlendirilmesi gibi pek çok karmaşık zorluğa cevap verebilecek etkinlikte değildir. Dolayısıyla, gelecek çalışmalar ile bu karmaşık zorlukları çözümlenebilecek şekilde yaklaşımın sürekli geliştirilmesi ve sürdürülebilir yapma çevrelerin üretimine katkıda bulunulması amacıyla bu yaklaşımın uygulanmasının teşvik edilmesi hedeflenmektedir.

## KAYNAKLAR

1. M.M Singh, S. Singaravel, R. Klein, “Quick energy prediction and comparison of options at the early design stage,” *Advanced Engineering Informatics*, **46**(101185), (2020), pp:1-15.
2. T. Østergård, R.L. Jensen, S.E. Maagaard, “A comparison of six metamodeling techniques applied to building performance simulations,” *Applied Energy*, **211**, (2018), pp: 89–103.
3. R. E. Edwards, J. New, L.E. Parker, B. Cui, J. Dong, “Constructing large scale surrogate models from big data and artificial intelligence,” *Applied Energy*, **202**, (2017), pp: 685–699.

4. A. I. J. Forrester, A. Sbester, & A.J. Keane, "Engineering design via surrogate modelling," *A John Wiley and Sons, Ltd., Publication*, (2008).
5. S. Seyedzadeh, F. P. Rahimian, I. Glesk, M. Roper, "Machine learning for estimation of building energy consumption and performance: a review," *Visualization in Engineering*, **6**(1), (2018), pp: 1-20.
6. P. Westermann, R. Evins, "Surrogate modelling for sustainable building – A review," *Energy and Buildings*, **198**, (2019), pp:170-186.
7. A.P. Melo, R.S. Versage, G. Sawaya, R. Lamberts, "A novel surrogate model to support building energy labelling system: A new approach to assess cooling energy demand in commercial buildings," *Energy and Buildings*, **131**, (2016), pp:233-247.
8. J.S. Chou, D.K. Bui, "Modeling heating and cooling loads by artificial intelligence for energy-efficient building design," *Energy and Buildings*, **82**, (2014), pp:437-446.
9. W. Tian, S. Yang, J. Zuo, Z. Li, Y. Liu, "Relationship between built form and energy performance of office buildings in a severe cold Chinese region," *Building simulation*, **10**, (2017), pp:11-24.
10. S.D. Mangan, G.K. Oral, I.E. Kocagil, I. Sozen, "The impact of urban form on building energy and cost efficiency in temperate-humid zones," *Journal of Building Engineering*, **33**(101626), (2020) pp:1-15.
11. S. D. Mangan, "Sürdürülebilir konut tasarımı ve yenilemesine ilişkin internet tabanlı karar destek aracının geliştirilmesi," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, **36:4**, (2021), pp:1785-1800.
12. T. Østergård, R.L. Jensen, S.E. Maagaard, "Interactive Building Design Space Exploration Using Regionalized Sensitivity Analysis," *The 15th International Conference of IBPSA*, (2017), pp: 726–735.
13. B. Lee, M. Trcka, J.L.M. Hensen, "Building energy simulation and optimization: A case study of industrial halls with varying process loads and occupancy patterns," *Building Simulation*, **7**(3), (2013), pp: 229–236.
14. H. Zhong, J. Wang, H. Jia, Y. Mu, S. Lv, "Vector field-based support vector regression for building energy consumption prediction," *Applied Energy*, **242**, (2019), pp: 403-414.
15. A. Tsanas, A. Xifara, "Accurate quantitative estimation of energy performance of residential buildings using statistical machine learning tools," *Energy and buildings*, **49**, (2012), pp: 560-567.
16. Z. Wang, Y. Wang, R. Zeng, R.S. Srinivasan, S. Ahrentzen, "Random Forest based hourly building energy prediction," *Energy and Buildings*, **171**, (2018), pp: 11–25.

# **SIFIR KARBONA GEÇİŞTE BİNA SEKTÖRÜNDE DÖNGÜSEL EKONOMİNİN BENİMSENMESİ: ENGELLER VE İTİCİ GÜÇLER**

Selimhan Sevindik<sup>1</sup>  
Suzi Dilara Mangan<sup>2</sup>  
YTÜ Mimarlık Fakültesi

## **ÖZET**

*Küresel çapta tüm ülkeler ve yerel yönetimler için iklim değişikliği ile mücadele en öncelikli konuların başında gelmekte olup iklim değişikliğinin azaltılmasına yönelik iddialı hedefler taahhüt edilmektedir. Ancak, bu hedeflere ulaşılabilmesi için enerji tüketimine dayalı sera gazı emisyonları ile mücadelenin tek başına yeterli olmadığı, süregelen kaynak ve karbon yoğun lineer ekonomi (al-yap-at) modelinden, iklim değişikliğine küresel yanıtın önemli bir unsuru haline gelen döngüsel ekonomiye (azalt-yeniden kullan-geri dönüştür) geçişin kaçınılmaz olduğu açıktır. Bu bağlamda, global olarak kaynak tüketimi ve sera gazı emisyonlarının büyük bir kısmından sorumlu olan bina sektörüne döngüsel ekonominin entegrasyonu, net sıfır dünya hedefine ulaşmada ciddi bir potansiyele sahip olan bina sektörünün karbonsuzlaştırılmasına yönelik de büyük fırsatlar sunmaktadır. Ancak bu fırsatların faydaya dönüştürülmesinde parçalı yapıya sahip mevcut bina sektöründeki döngüsel ekonomi ilkelerine ilişkin bilgi ve bilinç eksikliği, bu ilkelerin sektörde uygulanmasını zorlaştırmakla birlikte yanlış uygulamalara neden olarak verimsizliği de artırmaktadır. Bu nedenle, bu çalışma ile bina sektöründe döngüsel ekonomi kavramının nasıl algılandığına ve entegrasyonunda karşılaşılan engeller ve itici güçlerin neler olduğuna dair geniş bir çerçevenin gerçekleştirilen literatür taraması aracılığıyla sunulması amaçlanmıştır. Bu amaç çerçevesinde, sıfır karbona geçiş sürecine yönelik döngüsel ekonominin bina sektöründe benimsenmesinde kilit role sahip karar vericilerin bilinçli kararlar alabilmesini sağlayacak düzeyde kapasitenin geliştirilmesine katkı sağlanması hedeflenmiştir.*

*Anahtar sözcükler: Döngüsel ekonomi, Bina sektörü, Engeller, İtici güçler, Karar vericiler*

## **ABSTRACT**

*Globally, combating climate change is one of the top priorities for all countries and local governments and ambitious targets are committed to mitigate climate change. However, in order to achieve these targets, it is clear that tackling greenhouse gas emissions based on energy consumption alone is not sufficient, and that a transition from the ongoing resource and carbon-intensive linear economy ("take-make-dispose") model to a circular economy (reduce-reuse-recycle), which has become an important element of the global response to climate change, is inevitable. In this context, integrating the circular economy into the building sector, which is responsible for a large share of resource consumption and greenhouse gas emissions globally, offers great opportunities for decarbonization of the building sector, which has a significant potential for achieving the net zero world target. However, the lack of knowledge and understanding of circular economy principles in the existing building sector, which has a fragmented structure in transforming these opportunities into benefits, makes it difficult to implement these principles in the sector and increases inefficiency by causing misapplications. Therefore, this study aims to provide a broad framework on how the circular economy concept is perceived in the building sector and what are the barriers and drivers for its integration through a literature review. Within this framework, it is aimed to contribute to building the capacity of decision makers who have a key role in the adoption of circular economy in the building sector to make conscious decisions.*

*Key words: Circular economy, Building sector, Barriers, Drivers, Decision makers*

<sup>1</sup> e-posta adresi: selimhansevindik@gmail.com

<sup>2</sup> e-posta adresi: sdmangan@yildiz.edu.tr

## 1.GİRİŞ

Küresel çapta iklim krizi ile mücadele konusu ülkelerin önemli gündemlerinden birisi olmaya devam etmekte ve bu konuda Paris Anlaşması ile küresel ısınmanın 2°C'nin altına indirilmesi ve 1.5°C'de tutulması hedefi için çalışmalar devam etmektedir. Bu hedef kapsamında küresel sera gazı emisyonlarının 2050 yılına kadarki süreçte net sıfır seviyesine indirilmesi önem taşımaktadır. Sektörler bu hedefi dikkate alarak sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik çalışmalar geliştirirken güncel stratejilerin ulusal hedeflere ulaşmakta yetersiz kaldığı ve yeni stratejilerin sürece dahil edilmesi gerektiği açıktır. 2022 yılında gerçekleştirilen Hükümetler arası İklim Değişikliği Panelinde bu durum değerlendirilmiş ve ilk kez bir IPCC raporuna iklim değişikliği ile mücadele kapsamında döngüsel ekonomi modeli dahil edilerek lineer ekonomi modelinden çıkışın küresel açıdan önemine vurgu yapılmıştır [1, 2].

Bina sektörü gerek binaların kullanım sürecinde ortaya çıkan operasyonel enerjiye dayalı sera gazı emisyonları gerekse de gömülü karbon emisyonları ile küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %30-40'ından sorumlu olup bu durum binaların iklim değişikliği üzerindeki etkisinin oldukça yüksek olduğunu göstermektedir. Kentsel nüfus artış hızına bağlı olarak 2050 yılı için dünya nüfusunun yaklaşık %70'ini kentlerin oluşturacağı öngörüsü ile yapı stoğu ihtiyacının ve bina sektörüne bağlı karbon emisyonlarının da artacağı öngörülmektedir. Bu sebeple bina sektörü için sıfır karbona geçiş sürecinin son derece önemli olduğu ve dolayısıyla, kaynakların verimsiz kullanımına sebep olan lineer ekonomi modelinden döngüsel ekonomi modeline doğru dönüşümün kaçınılmaz olduğu açıktır [1].

Öte yandan, Türkiye bina sektörü karbonsuzlaşma yol haritası kapsamında da, 2053 yılına kadarki süreç için kademeli olarak sıfır enerjili bina yaklaşımının benimsenmesi ve operasyonel karbonun azaltılması gibi pek çok hususa ilişkin hedefler belirlenmiştir. Döngüsel ekonomi yaklaşımı ile kaynakların verimli bir şekilde kullanımının önceliklendirilmesi, ilgili hedeflere ulaşılmasında ciddi bir katkı düzeyine sahiptir. Dolayısıyla, tüm sektörlerde olduğu gibi bina sektöründe de döngüsel ekonominin tüm süreçlere entegrasyonun sağlanması birincil hedefler arasında yer almaktadır [3].

Döngüsel ekonominin bina sektöründe benimsenmesi hususunda son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalar, döngüsel ekonominin hangi ölçekte entegre edilmesi gerekliliği, malzemelerin ve tasarım yöntemlerinin bu süreçteki etkisinin belirlenmesi gibi geniş bir araştırma alanını kapsamaktadır [4]. Bu nedenle, bu çalışma ile bina sektöründe döngüsel ekonominin benimsenmesine yönelik olarak güncel durumun gerçekleştirilen literatür taraması aracılığıyla incelenmesi ve sektörde karşılaşılan engeller ve itici güçlerin değerlendirilerek ilgili karar vericilerin bilinçli kararlar almasına katkı sağlanması hedeflenmiştir.

## 2. DÖNGÜSEL EKONOMİ KAVRAMI

Döngüsel ekonomi, her şeyin mümkün olduğu kadar uzun sürede ve yüksek verimde kullanıldığı bir sistem olup döngüsel ekonomi kavramı 1960'larda kullanılmaya başlanan azalt, yeniden kullan ve geri dönüştür ilkelerinin yanı sıra bugün itibarıyla çok daha detaylı ilkeleri içeren bir kavramdır [5]. Azaltma ilkesi, ürünlerin verimliliklerinin artırılmasına dayalı olarak daha az ürün kullanımının sağlanmasını ve böylelikle ortaya çıkacak fazla karbon emisyonların önüne

geçilmesini hedefleyen bir ilkedir. Azaltma ilkesi reddetme, yeniden düşünme/tasarlama, minimize etme gibi yeni ilkeler ile ilişki kurmaktadır. Yeniden kullanma ilkesi ürünlerin belirli bir amaçla kullanılmalarının ardından aynı ya da farklı amaçlar için yeniden değerlendirilmesi yolu ile malzeme kullanım ömrünün uzamasını ve yeni malzeme ihtiyacının azaltılarak ortaya çıkacak fazla karbon emisyonlarının önüne geçilmesini sağlayan bir ilke olarak ifade edilmektedir. Bu yöntem azaltma ilkesinde olduğu gibi verimliliğin artırılmasını esas almakta ve kaynakların onarılması/yenilenmesi gibi farklı ilkeler ile ilişkilendirilmektedir. Geri dönüşüm ilkesi ise, ömrünü tamamlayan ürünlerin işlenme sürecinin ardından aynı ya da farklı amaçlar için yeniden kullanıma sunulması olarak ifade edilirken her ürünün tamamen geri dönüştürülebilir özelliğe sahip olmaması ya da sınırlı sayıda geri dönüştürülebilmesi ise, bu ilkenin eksik yönlerindedir. Bu nedenle, geri dönüşüm ilkesi her ne kadar önemli bir ilke olarak kabul edilse de diğer ilkelere kıyasla daha sonra değerlendirilmesi gereken bir yöntemdir [6, 7].

Döngüsel ekonomi kavramı, çevresel etkinliği artırmakla birlikte ekonomik ve sosyal açıdan sağladığı katkılar ile de sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin gerçekleştirilmesinde etkin bir role sahiptir. Günümüz ekonomik faaliyetlerinde tüketim alışkanlıkları ve ortaya çıkan atıklar oldukça yüksek seviyelere ulaşmış durumdadır. Bu durum, 20. yüzyılda tüketilen 740 milyar ton malzeme ile lineer ekonomi modelinin hakim olduğu geçen 6 yılda tüketilen 582 milyar ton malzeme ile karşılaştırıldığında son dönemdeki tüketim anlayışının ne denli yüksek düzeylere ulaştığı açıkça görülebilmektedir [8].

Öte yandan, bina sektörünün enerji ve karbon emisyonları açısından küresel ölçekteki etkisi göz önüne alındığında ise, binalarda kullanılan malzemelerin üretimi, ulaşımı, kullanımı ve atık yönetimi hususlarına ilişkin olarak döngüsel ekonominin bina sektörüne entegrasyonu ciddi bir öneme sahiptir. Döngüsel ekonomi modeli çok çeşitli alanlarda uygulanabilen bir model olmakla birlikte binalar açısından bir binanın tasarım aşamasından yıkım aşamasına kadar ki tüm evrelerinin döngüsel ekonomi ilkelerine uygun bir şekilde gerçekleştirilmesini ifade etmektedir. Döngüsel ekonomi ile yapı malzemelerinden kaynaklı küresel sera gazı emisyonlarının önemli ölçüde azaltılabileceği öngörülmektedir [9-11].

Döngüsel ekonominin bina sektöründe benimsenmesi hususu oldukça güncel bir konu olup bu hususa ilişkin literatürde pek çok çalışma yapılmaya devam etmektedir. Yapılan çalışmalar genel olarak irdelendiğinde, bu entegrasyon sürecini destekleyen itici güçlerin ve karşılaşılan engellerin gerek sektörden farklı karar vericiler ile gerçekleştirilen görüşmelere/anket çalışmalarına, gerekse literatürde döngüsel ekonomi modelini irdeleyen çalışmalarda dikkate alınan faktörlere dayalı olarak belirlenmeye çalışıldığı görülmektedir.

### **3. BİNA SEKTÖRÜNDE DÖNGÜSEL EKONOMİNİN BENİMSENMESİ: ENGELLER VE İTİCİ GÜÇLER**

Bina sektöründe karşılaşılan engeller ve itici güçler, literatürdeki mevcut sınıflandırma yöntemlerine dayalı olarak gerek birbirleri ile ilişkilendirilerek gerekse ayrı ayrı verilebilmekte ve çeşitli kategoriler kapsamında değerlendirilmektedir. Bu çalışmada ise, gerçekleştirilen literatür taramasına dayalı olarak bina sektöründe döngüsel ekonominin benimsenmesi hususuna ilişkin engeller ve itici güçler ekonomik, sosyal ve kültürel, teknik, teknolojik, sektörel ve çevresel olmak üzere 6 kategori altında irdelenmiştir.



Ekonomik faktörler, diğer faktörlerle de güçlü bir ilişki içerisinde olan önemli bir kategoridir. Entegrasyon süreci boyunca karşılaşılan ekonomik belirsizlikler, bina ömrüne bağlı malzeme geri dönüşümlerinde karşılaşılan maliyetler, yüksek ilk yatırım maliyetleri ve kısa vadeli ekonomik planlar bu kategorideki önemli ekonomik engeller olarak değerlendirilmekteyken süreç boyunca net bir ekonomik tabloya sahip olunması ise, bu kategorinin itici gücünü oluşturmaktadır [4, 12].

Sosyal ve kültürel faktörler, temelde döngüsel ekonomiye ilişkin ilgi, bilgi ve farkındalık eksikliklerine dayalı engelleri içermektedir. Ayrıca, bina sektörünün bina üretim sürecinde esas aldığı mevcut yaklaşımlarda ısrarcı olması ve döngüsel ekonominin benimsenmesine yönelik olarak yapılması gereken değişimlere direnç göstermesi de bu engellerin aşılmasını zorlaştırmaktadır. Farkındalık artırmaya yönelik çalışmalar ile birlikte mevcut bilgi eksikliklerinin giderilmesine ilişkin eğitim ve araştırmaların yürütülmesi ise, bu kategori kapsamında etkili olan itici güçlerdir [13, 14].

Teknik faktörler, literatürdeki bazı çalışmalar kapsamında yasal mevzuatlar ve standartlar olarak dikkate alınmakta olup aynı zamanda döngüsel ekonominin entegrasyonuna ilişkin uygulamalarda karşılaşılan teknik bilgi eksiklikleri de bu kategori altında irdelenmektedir. Yönetmeliklere ilişkin çerçevelerin geliştirilmesi ile gereksinim duyulan teşviklerin sağlanmasına ve teknik bilgi eksikliklerinin giderilmesine yönelik faaliyetler ise, itici güçler olarak bu kategori kapsamında değerlendirilmektedir [4, 15].

Teknolojik faktörlerde döngüsel ekonominin bina sektöründe benimsenmesi sürecinde ihtiyaç duyulan teknolojilerin eksikliği ile birlikte var olan teknolojilere erişim problemleri önemli engeller olarak sıralanmaktadır. Öte yandan, bu teknolojilerin etkin kullanımının sağlanması ise, entegrasyon süreci açısından bir itici güçtür. Bu kategori, ihtiyaç duyulan teknolojiler konusundaki bilgi ve farkındalık eksiklikleri ile birlikte ekonomik açıdan da diğer kategorilerle ilişkilidir [13, 15].

Diğer bir kategori olarak sektörel faktörler, sektör içerisindeki karar vericilerin birbirleri ile kurduğu iş birliklerine ek olarak bina sektörünün diğer sektörlerle ilişkisinde de ortaya çıkan engelleri kapsamaktadır. Sürecin koordineli bir şekilde sürdürülmesi ve bu amaca yönelik geliştirilebilecek araçlar ise, bu kategorinin itici güçlerini oluşturmaktadır [4, 16-17].

Çevresel faktörler ise, bina yaşam döngüsü süresince çevresel etki değerlendirmesine ilişkin bilgi, ekonomik teşvik ve yasal düzenlemelerdeki eksikliklere dayalı engelleri kapsamakta olup bu süreçte karşılaşılabilecek ekolojik olumsuzlukların azaltılması ile çevresel sürdürülebilirliği maksimize edebilecek itici güçleri de içeren bir kategoridir [15].

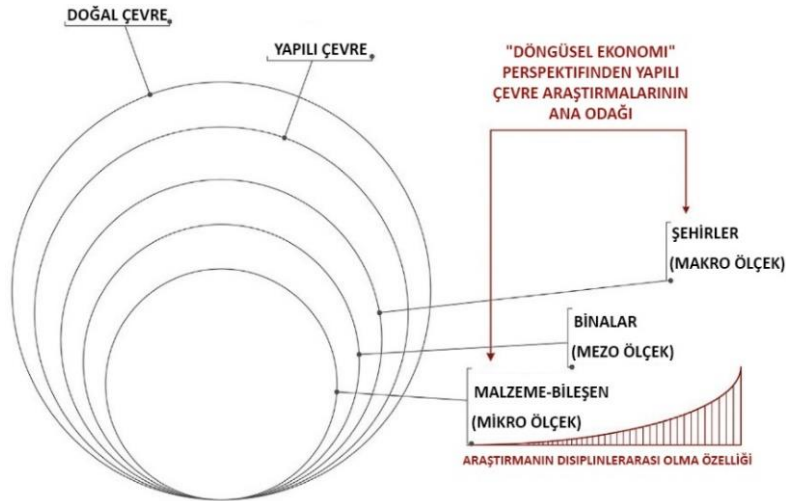
Tüm bu kategorilere ilişkin olarak literatürde yapılmış çalışmalar irdelendiğinde, bina sektöründe döngüsel ekonominin benimsenmesine yönelik karşılaşılan engeller ve itici güçlerin belirlenmesinde genel olarak, görüşme/anket çalışmalarının gerçekleştirildiği çalışmalar ile birlikte bu ilgili engeller ve itici güçlere ilişkin literatürdeki çalışmaları farklı açılardan değerlendiren derleme çalışmalarının ağırlıkta olduğu görülmektedir. Bu açıdan, bu çalışma kapsamında irdelenen bazı görüşme/anket çalışmalarına dayalı olarak bina sektöründe döngüsel ekonominin benimsenmesine ilişkin engel kategorilerinin önem sıralamasının teknik, sosyal ve kültürel, teknolojik, ekonomik ve sektörel olduğu söylenebilir. Bu bağlamda, çevresel engellerin diğer

engeller ile dolaylı ya da doğrudan etkileşimi olmakla birlikte tek başına da önemli etki düzeyine sahip bir kategori olduğu açıktır. Teknolojik faktörler ise, ayrı bir kategori olmakla birlikte bazı durumlarda diğer engeller içerisinde de değerlendirilebildiği görülmektedir [4, 17]. İrdelenen derleme çalışmaları kapsamında ise, literatürde bina sektöründe döngüsel ekonominin benimsenmesine ilişkin yapılmış çalışmalarda ele alınan engellerin çoğunlukla teknik, ekonomik, sosyal ve kültürel faktörler olduğu vurgulanmaktadır [15, 18]. Bu bağlamda, her ne kadar anket çalışmalarında katılımcı kişi sayısı ve profili, ülke bilgileri ve derleme çalışmalarında da esas alınan çalışmaların gerçekleştirilme amaçları farklılık gösterse de, ilgili engel ve itici güçlerin genel olarak ekonomik, sosyal ve kültürel ve teknik faktörler olarak önceliklendirildiğini söylemek mümkündür. Bu çalışmada ise, döngüsel ekonominin bina sektöründe benimsenmesine ilişkin karşılaşılabilecek olası engeller ve itici güçler, uygulama ölçekleri ve karar vericiler açısından olmak üzere iki ayrı kategoride ele alınmış olup alt başlıklar aracılığıyla aşağıda sunulmuştur.

### 3.1 Uygulama Ölçekleri Açısından Engeller ve İtici Güçler

Döngüsel ekonominin yapıyı çevreye entegrasyonu farklı uygulama ölçekleri esas alınarak gerçekleştirilmekte olup bu süreçte engellerin hangi ölçekte ve ne düzeyde bir öneme sahip olarak ortaya çıkacağına belirlenmesi sürecin başarılı olarak gerçekleştirilebilmesi için ciddi öneme sahiptir.

Yapılı çevrenin alt ölçeği olarak kabul edilen mikro ölçek bazı çalışmalarda bina ve firma ölçeğini kapsarken mezo ölçek ise, yapı endüstrisini kapsamaktadır [13]. Diğer çalışmalarda ise, yapı malzemeleri ve bileşenleri mikro ölçek olarak değerlendirilirken binalar mezo ölçek olarak kabul edilebilmektedir (Şekil 1) [11]. Kentler ve ülkeler ise, genel olarak makro ölçek kapsamında değerlendirilmektedir. Döngüsel ekonominin bina sektöründe benimsenmesinde karşılaşılan engeller, her ne kadar tüm uygulama ölçeklerinde mevcut olsa da farklı ölçeklerde farklı engel kategorilerinin önem düzeyleri değişebilmektedir [11, 13].



Şekil 1: Farklı uygulama ölçekleri [11]

Mikro ölçekte sosyal ve kültürel faktörler kapsamındaki hususlara ilişkin düşük ilgi düzeyi ile insan kaynağı eksikliklerine ek olarak değişime karşı gösterilen direnç ve uzman eksikliği önemli engeller olarak gösterilmektedir. Bu engellerin minimize edilmesinde karar vericilerin bilgi ve bilinç düzeylerinin iyileştirilmesine yönelik farkındalık artırıcı eğitimlerin gerçekleştirilmesi ve ilgili üretici firmaların bu sürece olan adaptasyonlarının teşvik edilmesini sağlayacak mekanizmaların geliştirilmesi ise, itici güçler olarak sıralanmaktadır. Teknolojik engellere de vurgu yapılan bu ölçekte yüksek ilk yatırım maliyetlerine dayalı ekonomik engellerin önem düzeyi oldukça yüksektir. Öte yandan, döngüsel hizmet ve ürünlere ilişkin yeni pazarların oluşturulması ise, potansiyel bir itici güçtür. Mevcut yasal düzenlemelerde bu hususlara ilişkin eksikler var olmakla birlikte mikro ölçekte bu teknik faktörlerin önem düzeyi diğer faktörlere kıyasla çok yüksek değildir [13].

Mikro ölçek kapsamında ayrıca, binaların yaşam döngüsü süresince (tasarım, yapım, kullanım, yıkım ve yıkım sonu evreleri) gerçekleşen karbon emisyonları, bina sektörünün karbonsuzlaştırılmasına yönelik geliştirilen tüm politika ve çalışmaların odak noktasını oluşturmaktadır. Bu açıdan, bina yaşam döngüsü evrelerinin her birinin karbon emisyonları üzerindeki yüksek etki düzeylerinin indirgenebilmesi için erken tasarım evresinde bilinçli ve doğru karar verme sürecinin gerçekleştirilmesi önemlidir [19]. Dolayısıyla, tasarım evresi, bina üretim sürecine döngüsel ekonominin entegrasyonunun gerçekleştirilmesinde en yüksek potansiyele sahip evredir. Gerek sürdürülebilir malzemelerin üretimi gerekse de ilk yatırım maliyetlerinin indirgenmesi açısından diğer önemli etki düzeyine sahip evre ise, üretim evresidir. Yapım evresi, önceki evrelerde alınan kararların uygulandığı bir evre olması nedeniyle kullanım evresi ile birlikte döngüsel ekonomi ilkelerinin benimsenmesinde potansiyeli en düşük evreler olarak kabul edilmektedir. Son evre olan yıkım ve yıkım sonu evreleri ise, bina kullanım ömrünün sonunda gerçekleştirilen atık yönetimi süreci açısından önemli görülmektedir [14, 17].

Mezo ölçekte teknik ve teknolojik faktörler kapsamında bilgi eksikliği, iş birliklerinin sağlanması için gereksinim duyulan araçların yetersizlikleri ile kullanılan sistem ve yöntemlerin karmaşıklık düzeyleri en önemli engeller olarak sıralanmaktadır. Öte yandan, vurgulanan bilgi ve teknoloji eksikliklerinin giderilmesi ile süreç, sistem ve ürünlerin uygun teknolojiler ile yeniden tasarlanması ise, itici güçler olarak dikkate alınmaktadır. Tüm ölçeklerde karşılaşılan ekonomik engellerden finansal riskler ve teşviklerin yetersizliği hususları aynı zamanda yasal engellerle de ilişkilidir. Mezo ölçekte önem düzeyi düşük görünen sosyal ve kültürel engeller kapsamındaki yapı endüstrisinin değişime karşı gösterdiği direnç ise, önemli bir engel olarak ortaya çıkmaktadır.

Makro ölçekte ise, çok uzun süredir kullanılmakta olan lineer ekonomi modelinden kaynaklı sosyal ve kültürel engellerin yanı sıra teknik eksiklikler (mevzuat/standart eksikliği) de en önemli engeller olarak dikkat çekmektedir. Diğer bir önem düzeyi yüksek engel, malzemelerin geri dönüşümü ve standardizasyonu gibi konuları içeren teknolojik engellerdir. Makro ölçekte etkin itici güç ise, kararlı politikaların, ulusal hedeflerin ve yeni standartların belirlenerek uygulanmasıdır [13].

### **3.2 Karar Vericiler Açısından Engeller ve İtici Güçler**

Mevcut parçalı yapıya sahip bina sektörü içerisinde arz ve talep kısmında yer alan karar vericilerin bilgi ve bilinç düzeylerinin artırılarak bina sektöründe döngüsel ekonominin benimsenmesi sürecine pozitif katkı sunulabileceği açıktır. Bu açıdan, farklı karar vericilerin mevcut bilinç düzeylerinin belirlenmesine ilişkin yapılmış çalışmalarda, yükleniciler, alt yükleniciler, malzeme

üreticileri, yıkım, atık yönetimi ve geri dönüşüm uzmanları, tasarımcılar ve müşteriler içerisinde kendi farkındalık düzeylerinin diğer karar vericilere kıyasla daha yüksek olduğuna ve bağlı oldukları kurumların farkındalık düzeyinin düşük, yapı endüstrisinde ise bu durumun minimum seviyelerde olduğuna dair kanının hakim olduğu vurgulanmaktadır [12, 14]. Öte yandan, proje üretim sürecinde yer alan karar vericiler için ekonomik, teknik ve teknolojik faktörler ile güçlü bir etkileşim mevcut olmakla birlikte [20] proje boyut ve kapsamının döngüsel ekonominin bina üretim sürecine entegrasyonunda kritik bir rolü olduğu ifade edilmektedir. Küçük ölçekli bina üretiminde, karar vericilerin sayısının sınırlı olması karar vericiler arasındaki iş birliğini kolaylaştırırken, büyük ölçekli binaların tasarımı ve yapımında ise ilgili karar vericilerin sayısının artması ile bu iş birliği zorlaşmaktadır [4, 17].

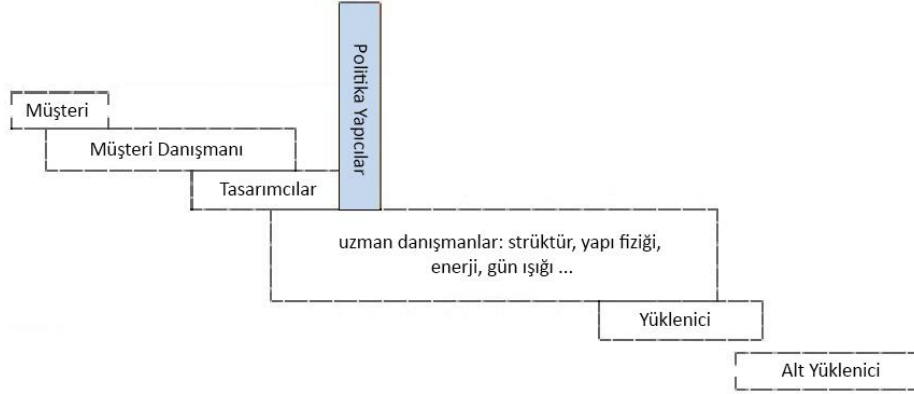
Bu bağlamda, bina sektöründe döngüsel ekonominin benimsenmesinde en yüksek etki düzeyine sahip karar vericiler olarak müşteriler, tasarımcılar ve malzeme üreticileri gösterilmektedir. Tasarımcıların erken tasarım sürecinde ve sonrasında bina üretim sürecini etkileyebilecek kararlarda aktif rolünün olması, müşterilerin ise bina üretimine ilişkin beklentilerine paralel olarak tasarım ve yapım süreçlerine doğrudan yön vermesi bu etki düzeyini derinleştirmektedir. Malzeme üreticileri ise, malzeme teknolojilerinin de gelişmesiyle birlikte sürdürülebilir malzemelerin sektörde kullanımının yaygınlaşması hususunda etkili bir karar vericidir. Bina yaşam döngüsü sonunda ortaya çıkan yapısal atıkların yönetiminin sağlanması döngüsel ekonominin entegrasyonunda önemli bir evredir. Dolayısıyla, bu evrenin erken tasarım evresinden itibaren değerlendirilmesi gerekliliği yıkım, atık yönetimi ve geri dönüşüm uzmanlarının da karar vericiler içerisinde etkinliğini ön plana çıkarmaktadır. Bina tasarım evresinin tamamlanmasından sonra bina üretim sürecine dahil olan yüklenici ve alt yükleniciler, ilgili entegrasyon sürecinde en düşük etki düzeyine sahip karar vericiler olarak kabul edilmektedir [14].

Öte yandan, araştırmacılar ve danışmanlar, yükleniciler ve müşteriler ile gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda döngüsel ekonominin bina sektöründe benimsenmesinde karşılaşılan engeller ve itici güçlerin etki düzeyleri konusunda farklı fikirlerin mevcut olduğu belirlenmiştir. Tüm katılımcılar tarafından yapı malzemelerinin yıkım ve yıkım sonu evrelerinde nasıl değerlendirileceğine ilişkin tasarım kararlarının olmaması en önemli engellerden birisi olarak görülürken, bu malzemelerin kullanım süreci boyunca değerinin düşmesi de diğer bir ciddi engel olarak sıralanmaktadır. Araştırmacılar bina yıkım ve yıkım sonrası evrelerine ilişkin konuların bina üretim sürecinde dikkate alınmaması ile birlikte ekonomik belirsizlikleri de önemli engeller olarak değerlendirmektedir. Teşviklerin yetersizliği ise, gerek araştırmacılar gerekse yükleniciler için diğer önemli bir engel olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte yükleniciler tarafından döngüsel ekonomi modeline olan ilgi eksikliğinin etki düzeyi yüksek bir engel olduğu belirtilirken müşterilerin aynı görüşü paylaşmadığı görülmektedir. Müşteriler için ekonomik belirsizlikler ciddi bir engel olarak ilk sırada yer almakta olup binaların karmaşık yapısı ise diğer önemli bir engel olarak değerlendirilmektedir [12].

Bina sektörüne döngüsel ekonominin entegrasyonu ile uzun vadede deneyimlenecek fayda ve zararlara ilişkin bilgilerin açık bir şekilde sektör ile paylaşılması tüm karar vericiler açısından önemli bir itici güç olarak görülmektedir. Ayrıca, yapı malzemelerinin kullanım ömrünü tamamladıktan sonra da değerlendirilebilmesi ve bu konuya ilişkin teknolojilerin geliştirilmesi de diğer etki düzeyi yüksek bir itici güçtür. Geri dönüştürülmüş (ikincil) malzeme kullanımına ilişkin ekonomik teşviklerin sağlanması müşteriler açısından önemli bir itici güç olarak görülürken ilgili malzemelere ilişkin standart ve yönetmeliklerin geliştirilmesi ise, yükleniciler açısından mühim bir

husustur. Araştırmacılar açısından ise, tasarıma yönelik araç ve rehberlerin geliştirilmesi ile birlikte malzemelerin çevresel etki düzeylerinin belirlenerek beyan edilmesi, sektörde döngüsel ekonominin benimsenmesine ivme kazandıracak ciddi itici güçler olarak görülmektedir [12].

Sonuç olarak, bina sektörü her ne kadar parçalı bir yapıya sahip olsa dahi karar vericilerin koordineli ve uyumlu bir şekilde çalışabilmelerini sağlayacak her türlü mekanizmanın bina üretim sürecine döngüsel ekonominin entegre edilmesinde pozitif katkılar sunacağı ve döngüsel ekonomi ilkelerine uyumlu yapma çevrelerin geliştirilmesine yönelik sektörün motivasyonunu yükselteceği açıktır (Şekil 2).



Şekil 2: Sektördeki karar vericilerin bina üretim sürecine katılımı [4]

#### 4. SONUÇLAR

Bina sektörünün karbonsuzlaştırılması hedefine yönelik olarak lineer ekonomi modelinden döngüsel ekonomi modeline geçişin önemi vurgulanırken sektörde döngüsel ekonominin benimsenmesine ilişkin çeşitli engeller ve itici güçler ile karşılaşılmaktadır. Bu çalışma kapsamında güncel literatür incelenerek ilgili engel ve itici güçler, uygulama ölçekleri ve karar vericiler açısından değerlendirilerek sunulmuştur.

Uygulama ölçekleri açısından yapılan değerlendirme sonucunda ilgili engellerin mikro ölçekte finansal ve teknolojik faktörler, diğer üst ölçeklerde ise teknik faktörler ile birlikte sosyal ve kültürel faktörler açısından önceliklendiği görülmektedir. Öte yandan, mikro ölçek kapsamında değerlendirilen binaların yaşam döngüsü evrelerine ilişkin çevresel etki düzeylerinin yüksek olması çevresel faktörleri de önem açısından ilk sıralara taşımaktadır. Bu bağlamda, tasarımcılar, malzeme üreticileri ve müşterilerin tasarım evresinde alınacak kararlar üzerindeki belirleyici rolleri, bu karar vericileri en etkili karar vericiler olarak diğer karar vericilerden ayırmaktadır. Ancak, bina sektöründe döngüsel ekonominin benimsenmesine ilişkin pek çok hususta süregelen belirsizlikler, bina sektörünün bu değişime karşı direnç göstermesine neden olmaktadır. Dolayısıyla, farklı uygulama ölçekleri ve karar vericiler açısından ihtiyaç duyulan pek çok gereksinimin karşılanmasına yönelik iyileştirici adımların atılması ile sürecin hızlandırılması zorunludur.

Türkiye açısından ise, bina sektöründe döngüsel ekonominin benimsenmesi ile ülkenin sıfır karbon hedeflerine ulaşabilmesine oldukça yüksek bir katkının sağlanabileceği açıktır. Özellikle kentsel dönüşüm projelerinin hızla devam ettiği bu süreç, bu açıdan büyük fırsatlar sunmaktadır. Ancak, bu fırsatların faydaya dönüştürülebilmesi için farklı uygulama ölçekleri ve karar vericiler açısından döngüsel ekonominin entegrasyonunda karşılaşılan engellerin indirgenmesi ve itici güçlerin etkin şekilde kullanımına ilişkin adımların ivedi şekilde atılması gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

1. K. Wang vd., “Circular economy as a climate strategy: current knowledge and calls-to-action”, Washington, DC, Kas. 2022.
2. IPCC, “Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change - Chapter 9: Buildings”, Elsevier Ltd, Ara. 2022.
3. M. Bayraktar, B. Binatlı, ve T. Üzümoğlu, “Türkiye Bina Sektörü Karbonsuzlaştırma Yol Haritası”, Ankara, Ara. 2023.
4. J. Kanters, “Circular building design: An analysis of barriers and drivers for a circular building sector”, Buildings, c. 10, sy 4, Nis. 2020, doi: 10.3390/BUILDINGS10040077.
5. Circle Economy, “The Circularity Gap Report 2020”, 2020.
6. P. Ghisellini, C. Cialani, ve S. Ulgiati, “A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems”, J Clean Prod, c. 114, ss. 11-32, Şub. 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2015.09.007.
7. J. Kirchherr, D. Reike, ve M. Hekkert, “Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions”, Resour Conserv Recycl, c. 127, ss. 221-232, 2017, doi: 10.1016/j.resconrec.2017.09.005.
8. Circle Economy, “The Circularity Gap Report 2023”, Amsterdam, 2023.
9. D. Zhuorong, “Planning Framework of the Circular economy eco-city”, 2016.
10. Ellen MacArthur Foundation, “Reimagining our buildings and spaces for a circular economy”. Erişim: 08 Aralık 2022. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/built-environment/overview>
11. F. Pomponi ve A. Moncaster, “Circular economy for the built environment: A research framework”, J Clean Prod, c. 143, ss. 710-718, Şub. 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.12.055.
12. K. T. Adams, M. Osmani, T. Thorpe, ve J. Thornback, “Circular economy in construction: Current awareness, challenges and enablers”, Proceedings of Institution of Civil Engineers: Waste and Resource Management, c. 170, sy 1, ss. 15-24, Şub. 2017, doi: 10.1680/jwarm.16.00011.
13. B. K. Ababio ve W. Lu, “Barriers and enablers of circular economy in construction: a multi-system perspective towards the development of a practical framework”, Construction Management and Economics, c. 41, sy 1, ss. 3-21, 2023, doi: 10.1080/01446193.2022.2135750.
14. K. Adams, “Circular economy in the UK building sector: a framework for implementation”, Loughborough University, Loughborough, 2021. doi: 10.26174/thesis.lboro.17067302.v1.
15. S. Osei-Tutu, J. Ayarkwa, D. Osei-Asibey, G. Nani, ve A. E. Afful, “Barriers impeding circular economy (CE) uptake in the construction industry”, Smart and Sustainable Built Environment, c. 12, sy 4, ss. 892-918, Haz. 2023, doi: 10.1108/SASBE-03-2022-0049.

16. J. Hart, K. Adams, J. Giesekam, D. D. Tingley, ve F. Pomponi, "Barriers and drivers in a circular economy: The case of the built environment", içinde *Procedia CIRP*, Elsevier B.V., 2019, ss. 619-624. doi: 10.1016/j.procir.2018.12.015.
17. C. Bertozzi, "How is the construction sector perceiving and integrating the circular economy paradigm? Insights from the Brussels experience", *City, Culture and Society*, c. 29, Haz. 2022, doi: 10.1016/j.ccs.2022.100446.
18. A. AlJaber, P. Martinez-Vazquez, ve C. Baniotopoulos, "Barriers and Enablers to the Adoption of Circular Economy Concept in the Building Sector: A Systematic Literature Review", *Buildings*, c. 13, sy 11, s. 2778, Kas. 2023, doi: 10.3390/buildings13112778.
19. S. Basic, A. Hollberg, A. Galimshina, ve G. Habert, "A design integrated parametric tool for real-time Life Cycle Assessment - Bombyx project", içinde *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics Publishing, Eyl. 2019. doi: 10.1088/1755-1315/323/1/012112.
20. M. R. Munaro ve S. F. Tavares, "A review on barriers, drivers, and stakeholders towards the circular economy: The construction sector perspective", *Cleaner and Responsible Consumption*, c. 8, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.clrc.2023.100107.

# **IŞIK RAFI DERİNLİĞİNİN GÜNIŞIĞI PERFORMANSI VE HAVA AKIŞ KARAKTERİSTİĞİNE ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Zeynep Keskin<sup>1</sup>

İlker Karadağ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Doğuş Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü

<sup>2</sup>Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Güzel Sanatlar, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü

## **ÖZET**

Görsel konfor koşullarını sağlanması ve aydınlatma enerjisi tüketiminin azaltılmasına yönelik olarak geliştirilen ışık rafları, geometrik özelliklerine bağlı olarak rüzgârı yönlendirerek mekân içerisinde oluşan hava hareketinin hızını ve dağılımını etkileyebilmektedir. Bu çalışmada, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (Computational Fluid Dynamics-CFD) yöntemi kullanılarak farklı ışık rafı boyutlarının havalandırma üzerindeki etkisinin, günüşiği performansı ile birlikte ele alınarak karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bir ofis hacmi için ışık rafı derinlik parametresine yönelik üç senaryo geliştirilerek, her senaryo için hacim içi günüşiği performansı ve iç hava akış dağılımları karşılaştırılmıştır. Işık rafının pencerenin iç yüzeyinde yer aldığı senaryoda, pencereden uzakta bulunan alanlarda aydınlık düzeylerinde daha fazla iyileşme görüldükçe, maksimum aydınlık düzeyinde önemli ölçüde artış olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, ışık rafının pencerenin dış yüzeyinde ve her iki yüzeyde yer aldığı senaryolara göre, iç yüzeyde yer aldığı senaryoda daha az türbülans etkisi olduğu değerlendirilmiştir. Çalışmanın kullanıcıların görsel ve termal konforunu karşılayan ışık rafı tasarımları geliştirmek adına ilgili meslek gruplarına bir kaynak olarak katkı sağlayacağı, aynı zamanda erken tasarım süreçlerinde farklı ışık rafı tasarım alternatiflerinin sayısal karşılaştırmalı değerlendirilmesini ele alan çalışmalar için referans niteliği taşıyacağı düşünülmektedir.

*Anahtar sözcükler: Işık rafları, Doğal havalandırma, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, Hava Akışı Simülasyonu*

## **ABSTRACT**

Light shelves, developed to provide visual comfort conditions and reduce lighting energy consumption, can affect the speed and distribution of indoor air movement by directing the wind depending on their geometric properties. This study aims to evaluate comparatively the effect of different light shelf dimensions on ventilation, along with daylight performance, using Computational Fluid Dynamics (CFD) method. Three scenarios were developed for the light shelf depth parameter for an office space, and daylight performance and internal airflow distributions were compared for each scenario. In the scenario where the light shelf is located on the inner surface of the window, greater improvement in illuminance levels was observed in areas away from the window, while a significant increase in maximum illuminance level was observed. However, there is less turbulence effect in the scenario where the light shelf is located on the inner surface compared to the scenarios where the light shelf is located on the outer surface of the window or on both surfaces. It is believed that the study will contribute as a resource to relevant professional groups in developing light shelf designs that meet users' visual and thermal comfort and will also serve as a reference for studies focusing on numerical comparative evaluation of different light shelf design alternatives in early design processes.

*Key words: Light shelves, Natural ventilation, Computational Fluid Dynamics, Airflow Simulation*

<sup>1</sup> e-posta adresi: zkeskin@dogus.edu.tr

<sup>2</sup> e-posta adresi: ilker.karadag@cbu.edu.tr



## 1.GİRİŞ

Gelişmiş günışığı aydınlatma sistemlerinden ışık rafları, derinliği fazla olan mekanlarda günışığı aydınlık düzeyinin yeterli olmadığı iç bölümlere yansıtıcı ve yönlendirici elemanlar vasıtası ile günışığının ulaştırılması amacı ile geliştirilmiş sistemlerdir. Mekân içerisinde düzgün dağılımlı aydınlık düzeyi oluşturulmasının yanı sıra, pencereye yakın bölümlerin direkt güneş ışığından korunmasıyla kamaşma kontrolü sağlanabilmektedir [1,2]. Göz hizasının üstünde konumlandırılan ışık rafları pencereyi iki bölüme ayırırken alt bölümde dış görüşü engellemekte, üst bölümde ise yüksek yansıtıcı özelliğe sahip raf yüzeyi sayesinde güneş ışığını önce tavana yansıtmakta, oradan da ikinci bir yansıma ile mekânın derinliklerine aktarmaktadır [3,4]. Günışığının yönlendirilmesiyle dolaylı olarak mekâna alınması ve pencereden uzak mesafelere ulaştırılması, görsel konfor koşullarının sağlanmasında ve aydınlatma amaçlı tüketilen enerjinin azaltılmasında etkili olmaktadır [5].

İç ortam ve dış ortam arasında bir arakesit olarak işlev gören yapı kabuğu, değişen dış ortam koşullarına karşı iç ortamda konfor koşullarının sağlanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Yapı kabuğunun önemli bir parçası olarak ışık rafları, güneş kontrol elemanları olarak kullanılmalarının yanı sıra, biçimsel özelliklerine bağlı olarak rüzgâr kontrol aracı olarak tasarlanabilmektedir. Sıcaklık, nem, hava hızı ve hareketi gibi ısıl konfor şartlarını doğrudan etkileyen rüzgâr, kullanıcıların ısıl dengesinin ve konforunun oluşumunda önemli rol oynamaktadır. Rüzgâr giriş açıklığının bulunduğu yüzeyin konumu ve yönleneşine göre iç mekânda oluşacak hava akımı hızı ve dağılımı farklılık göstermektedir. Işık rafları rüzgârın geliş açısına bağlı olarak bir engel olarak kabul edildiğinde, cepheye etkileyen rüzgâr basıncını ve doğrultusunu değiştirmek sureti ile iç mekânın doğal havalandırma verimini etkilemektedir. Bir diğer ifadeyle, ışık rafının konumu, kesit ve plan düzlemindeki biçimleneşine bağlı olarak açıklıktan geçecek havanın hızı ve yönü değişmektedir [6].

Işık raflarının tasarım aşamasında doğal aydınlatma performansının rüzgâr etkileriyle birlikte ele alınması ve farklı tasarım alternatiflerinin karşılaştırılarak değerlendirilmesi, enerji verimliliği ve konfor koşullarının sağlanması açısından önem teşkil etmektedir. Son yıllarda ışık raflarının günışığı ve aydınlatma enerjisi performansına katkılarının değerlendirilmesi ve bölgesel verimlilikleriyle ilgili çalışmalar yapılmış olmasına karşın [7,8,9], ışık rafı ve rüzgâr etkileşimi üzerine yapılan çalışmalar sınırlı kalmıştır. Bu çalışmada, farklı ışık rafı derinliklerinin günışığı performansı ile birlikte doğal havalandırma üzerindeki etkisinin sayısal analiz üzerinden değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

## 2. YÖNTEM

Işık rafının performans değerlendirmesi için 6x8x3,5m boyutlarında bir ofis ünitesi ele alınmış, analiz bölgesi olarak seçilen İstanbul ilinin coğrafi konumu (enlem 40°54', boylam 29°06') ve iklim verileri esas alınmıştır. Ele alınan ofis ünitesinin güney cepheye yönelmiş 6m x 2m boyutlarında tek bir yanal pencereye sahip olduğu ve yakın çevrede herhangi bir dış engel bulunmadığı varsayılmıştır. Cephe saydamlık oranı %57 ve pencerede kullanılan camın ışık geçirme katsayısı %60'tır. İç yüzey ışık yansıtma çarpanları tavan, duvar ve zemin için sırasıyla 0.82, 0.50 ve 0.29 olup, ışık rafının üst yüzeyinin 0.73 ışık yansıtma çarpanına sahip yüksek yansıtıcı bir malzemeyle

kaplandığı kabul edilmiştir. Işık rafının gölgeleme ve güneşini iç mekâna yönlendirmesi işlevleri dikkate alınarak, optimum performans göstermesi açısından bu çalışmada yatay olarak konumlandırıldığı varsayılmıştır. Işık rafının pencerenin iç ve dış yüzeylerinde yer alma durumları ele alınarak, pencerenin tek yüzeyinde olduğu durum için ışık rafı derinliği 0.5m, her iki yüzeyde olduğu durum için ise iç ve dış rafların eşit derinlikte ve toplam 1m olduğu varsayılmıştır. Değerlendirilen ışık rafları ve boyutsal özelliklerine yönelik yapılan kabuller **Çizelge 1**'de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Senaryolarda kullanılan ışık rafları ve boyutsal özellikleri

	<b>Işık Rafı Derinliği</b>	<b>Boyutsal Özellikler</b>	<b>Şematik Gösterim [4]</b>
<b>Senaryo 1</b> Işık rafının yalnızca dış yüzeyde yer aldığı durum	0.5 m	$H_{\text{tavan}} : 0.5 \text{ m}$ $h_{\text{üst pencere}} : 0.5 \text{ m}$ $h_{\text{ışık rafı}} : 2.5 \text{ m}$	
<b>Senaryo 2</b> Işık rafının yalnızca iç yüzeyde yer aldığı durum	0.5 m	$h_{\text{çalışma düzlemi}} : 0.85 \text{ m}$ $d_{\text{dış ışık rafı}} : 0.5 \text{ m}$ $d_{\text{iç ışık rafı}} : 0.5 \text{ m}$	
<b>Senaryo 3</b> Işık rafının her iki yüzeyde yer aldığı durum	İç 0.5 m Dış 0.5 m		

Çalışmanın ilk aşamasında, Rhinoceros programının eklentisi olan ve Radiance algoritmasını kullanan Climate Studio (CS) aracılığıyla, İstanbul ili için tanımlanan TMY iklim verisi kullanılarak, 21 Haziran saat 12:00 için CIE kapalı gök koşulu altında güneşini performans değerlendirmesi yapılmıştır. Yerden 85cm yükseklikte konumlanan çalışma düzlemi üzerinde 40cm aralıklarla oluşturulan toplam 266 (19x14) adet hesap noktası için güneşini aydınlık düzeyi değerleri hesaplanmıştır. Ele alınan üç farklı ışık rafı senaryosu, TS EN 17037 standardına göre çalışma mekanlarında sağlanması önerilen güneşini aydınlık değerleri temel alınarak [10], yeterli güneşini sağlanması açısından incelenmiştir. Her bir ışık rafı senaryosu için yapılan hesaplamalarda, ışık rafı derinliği dışındaki diğer tüm parametreler sabit tutulmuştur.

İkinci aşamada sonlu hacimler yönteminin esas alındığı Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) yaklaşımı kullanılarak yapılan sayısal analiz yardımıyla, üç farklı ışık rafı alternatifinin hava akış karakteristikleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Akış analizleri Solidworks programının Flow Simulation eklentisi kullanılarak yapılmıştır. Kütle modeli oluşturulduktan sonra akış alanı sınırları belirlenmiş, daha sonra hesaplama için akış alanını daha küçük hücrelere bölen ağ (mesh) tanımlanmıştır. Bu çalışma için türbülans modeli olarak k-epsilon türbülans modeli seçilmiş olup, ağ (mesh) yapısı için cut-cell (kartezyen grid) formu seçilmiştir. Bu ağ formu gelen rüzgâr yönüne dik hesaplama hücreleri temeline dayanır ve rüzgâr yönünü referans aldığından mimari uygulamalarda avantaj sağlamaktadır. Ayrıca, ışık rafının olduğu alanda oluşabilecek akış ayrışmalarını ve türbülans oluşumunu daha iyi analiz etmek ve hassas bir çözüm elde etmek

amacıyla, ışık rafının etrafındaki kritik alanda yapılandırılmış ağ (mesh) oluşturulmuş ve hücre sayısı artırılmıştır.

Sınır koşullar için rüzgâr yönü güney, ortalama rüzgâr hızı 3m/s olacak biçimde sabit bir referans değer alınmıştır. Güney yönünde tek cephede konumlanan ve ışık rafının iki bölüme ayırdığı pencerenin alt bölümünün sabit, üst bölümünün ise açılır kanat olduğu kurgulanmıştır. Çevrede herhangi bir dış engel bulunmadığı varsayıldığından, engeller tarafından oluşacak hava akımı etkisi göz ardı edilmiştir. Analiz sonucunda hacim içerisinde ve çevresinde oluşan rüzgâr hareketleri doğal havalandırma performansı açısından değerlendirilmiştir.

### 3. BULGULAR

Günüşiği performans değerlendirmesi için çalışma düzleminde oluşturulan 266 (19x14) adet hesap noktasında hesaplama gerçekleştirilmiş, geliştirilen üç farklı senaryo için günüşiği aydınlık düzeyi dağılımları **Şekil 1**'de verilmiştir. TS EN 17037 standardına göre düşey açıklıklara sahip hacimler için hedef aydınlık düzeyi en az (300 lx), orta (500 lx) ve yüksek (750 lx) olarak sınıflandırılmış, bu değerlerin referans düzlemin %50'sinde sağlanması önerilmiştir (**Çizelge 2**). Analiz sonuçları TS EN 17037 standardında belirtilen kriterler doğrultusunda değerlendirildiğinde, üç ışık rafı senaryosu için günüşiği aydınlık düzeyi dağılımında farklılıklar olsa da hacmin tamamında hedeflenen en az günüşiği aydınlık düzeyinin (300 lx) sağlandığı görülmektedir. Senaryo 1 için 500 lx ve 750 lx üstünde kalan alanların oranı sırasıyla %88 ve %64 olarak hesaplanırken, bu oran Senaryo 2 için %94 ve %67, Senaryo 3 için ise %86 ve %62'dir. Bununla birlikte, standartta yer alan minimum aydınlık düzeyi değerlerinin referans düzlemin %95'inde sağlanması ölçütüne göre sonuçlar değerlendirildiğinde (**Çizelge 3**), her üç senaryo için en az (100 lx) ve orta (300 lx) aydınlık düzeylerinin bu ölçüte uygun olduğu, yüksek aydınlık düzeyinin ise (500 lx) uygun olmadığı görülmektedir.

Günüşiğinin konforsuzluk yaratabilecek yüksek değerlere ulaştığı ( $\geq 3000$  lx) oranlar incelendiğinde [**11**], ışık rafının pencerenin iç yüzeyinde olduğu senaryoda (Senaryo 2) diğer iki senaryoya göre bu oranın daha büyük olduğu (%9) görülmektedir. Senaryo 1 ve Senaryo 3 için günüşiğinin yüksek değerlere ulaştığı ( $\geq 3000$  lx) oranı sırasıyla % 6 ve % 3 olarak hesaplanmıştır. Bu durum, analizin yapıldığı zaman diliminde Senaryo 2 için ışık rafının yüksek aydınlık düzeylerinin oluşmasını önlemekte diğer senaryolara kıyasla yetersiz kaldığı ve gerekli durumlarda ek güneş kontrol önlemleri alınması gerekliliğini ortaya çıkartmaktadır. Güneş kontrolünün en fazla sağlandığı durumun ışık rafının her iki yüzeyde yer aldığı senaryo olduğu görülmektedir (Senaryo 3).

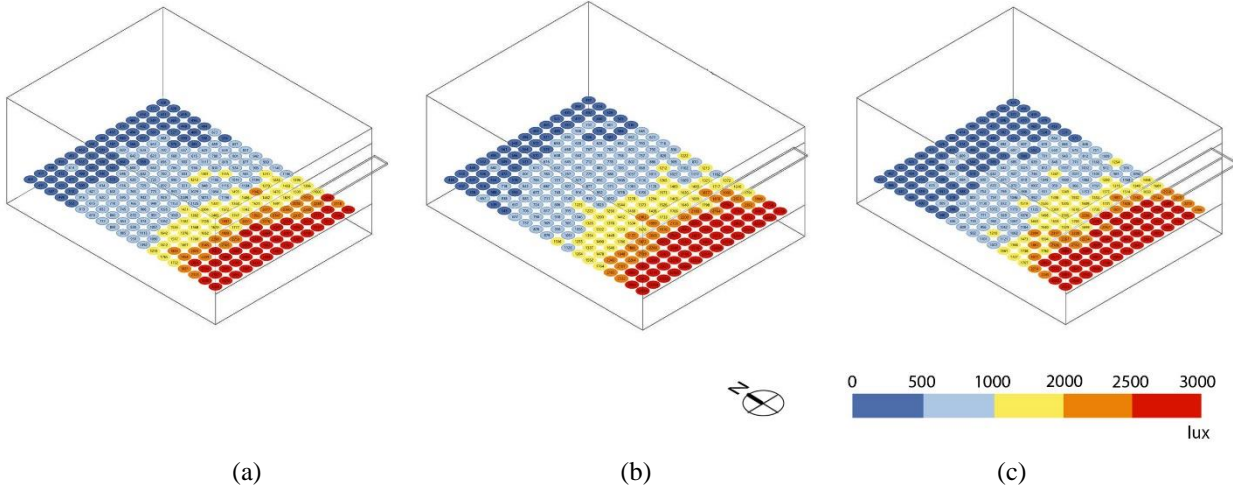
Işık rafının pencerenin iç yüzeyinde konumlanması pencereden uzakta bulunan alanlarda aydınlık düzeylerini iyileştirirken, maksimum aydınlık düzeyini önemli ölçüde artırmaktadır ( $E_{max}=32994$  lx). Aydınlık düzeyi dağılımları karşılaştırıldığında üç senaryo arasında büyük farklar görülmemesine karşın, ışık rafının pencere yüzeyinin içinde ve dışında yer aldığı durumda (Senaryo 3), 500 lx ve altında aydınlanan alanların oranı artmakta, ortalama aydınlık düzeyi azalmaktadır ( $E_{ort}=665$  lx).

Çizelge 2. TS EN 17037 hedeflenen aydınlık düzeyine ilişkin önerilen dereceler ve analiz sonuçları

Düşey pencereler için önerilen aydınlık düzeyleri			Analiz sonuçları						
Önerilen derece	Hedeflenen aydınlık düzeyi	Hedeflenen aydınlık düzeyi için referans düzlemin yüzdesi	Senaryo	Hedeflenen aydınlık düzeyi için referans düzlemin yüzdesi			Aydınlık düzeyi (lx)		
				En az	Orta	Yüksek	E <sub>ort</sub>	E <sub>min</sub>	E <sub>max</sub>
En az	300 lx	%50	Senaryo 1	% 100	%88	%64	750	371	3709
Orta	500 lx	%50	Senaryo 2	% 100	%94	%67	794	397	32994
Yüksek	750 lx	%50	Senaryo 3	% 100	%86	%62	665	377	3750

Çizelge 3. TS EN 17037 hedeflenen minimum aydınlık düzeyine ilişkin önerilen dereceler ve analiz sonuçları

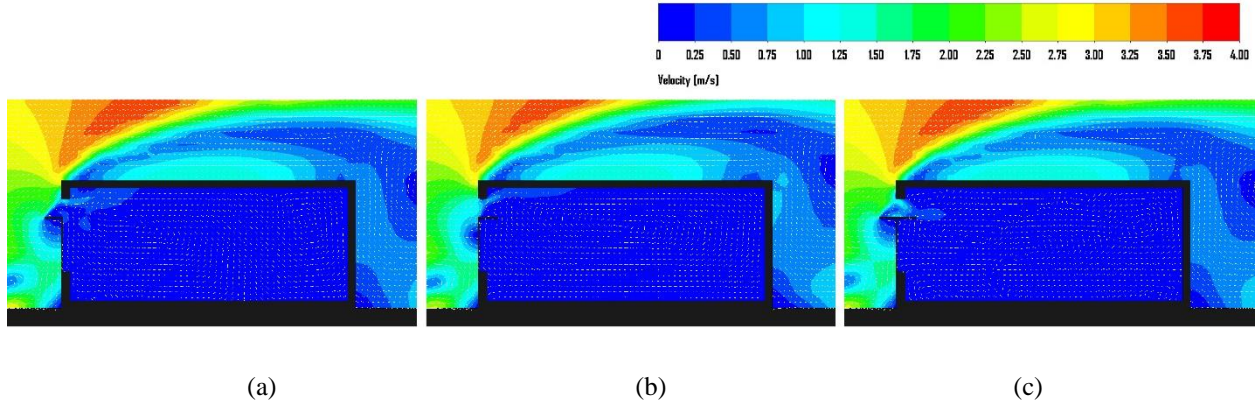
Düşey pencereler için önerilen minimum aydınlık düzeyleri			Analiz sonuçları			
Önerilen derece	Hedeflenen minimum aydınlık düzeyi	Hedeflenen minimum aydınlık düzeyi için referans düzlemin yüzdesi	Senaryo	Hedeflenen minimum aydınlık düzeyi için referans düzlemin yüzdesi		
				En az	Orta	Yüksek
En az	100 lx	%95	Senaryo 1	% 100	% 100	%88
Orta	300 lx	%95	Senaryo 2	% 100	% 100	%94
Yüksek	500 lx	%95	Senaryo 3	% 100	% 100	%86



Şekil 1: 21 Haziran saat 12:00 için CIE kapalı gök koşulu altında günışığı aydınlık değerleri  
(a) Senaryo 1, (b) Senaryo 2, (c) Senaryo 3

Ele alınan ofis hacminin rüzgâr ile etkileşimi incelendiğinde, hacim içerisindeki rüzgâr hareketlerinin nispeten daha düzenli olduğu, hacim etrafında ortaya çıkan basınç ve hız farklarının ışık raflarının konumlandırılmalarına göre değişiklik gösterdiği görülmektedir. Her üç senaryo için ışık rafı engel etkisi yaratarak, üst pencereden giren rüzgârın yönünü değiştirmiş ve tavana yönlendirmiş, oradan aşağıya doğru hareket etmesine ve hacim içerisinde dağılmasına neden

olmuştur. Hacim içerisinde ve etrafında oluşan basınç dağılımları incelendiğinde, hacim içerisindeki basınç çatının dış yüzeyinde oluşan basınçtan daha fazla olduğundan, hacim içerisindeki havanın bir kısmı ayrılarak üst pencereden dışarı doğru hareket etmektedir. Alt pencere ise sabit olduğundan, rüzgâr yüksek basınçtan alçak basınca geçemeyerek pencere yüzeyine çarpılmaktadır. Bu durum, ışık rafının altında kalan alanda düzensiz akım oluşturmakta, konforsuzluk yaratabilecek türbülans alanlarının oluşumuna sebebiyet vermektedir. **Şekil 2**'de verilen görselde, üç senaryo için ışık rafı çevresinde oluşan hız vektörleri görülmektedir.



**Şekil 2:** Kesit düzleminde CFD çözümü ile elde edilen rüzgâr hızı dağılımları  
(a) Senaryo 1, (b) Senaryo 2, (c) Senaryo 3

Işık rafının bir bölümünün veya tamamının pencere yüzeyinin dışında yer aldığı senaryolarda (Senaryo 1 ve Senaryo 3), ışık rafına çarpan hava akımlarının türbülans akımlarına dönüştüğü görülmekte, ışık rafının pencere yüzeyinin içinde yer aldığı senaryoda ise (Senaryo 2) hacmin dış yüzeyine gelen hava akımlarının yüzeyi yalayarak yönünü değiştirdiği, ancak diğer senaryolara göre daha az türbülans etkisi olduğu görülmektedir. Rüzgârın hacim etrafındaki akış karakteristiği incelendiğinde, köşelerde yüzeyden ayrıştığı ve hızında katmanlaşma olduğu görülmektedir. Hacim içerisinde oluşan rüzgâr hareketleri değerlendirildiğinde ise, üç durumda da ışık rafına yakın alanlarda ayrışmalar ve hızlanmalar görülmekle birlikte, hacim içerisinde rüzgâr hızı 1 m/s'nin altına düşmektedir. Cephe boyunca tek bir hava giriş ve çıkış açıklığı olması dolayısıyla hacim içerisindeki havanın durağan veya hava hareketinin az olduğu çıkarımı yapılabilir.

#### 4. SONUÇ

Işık rafı tasarım sürecinin ilk aşamasında boyutsal parametreler belirlenirken günışığı ve gölgelemenin yanı sıra, rüzgâr hareketlerinin etkisinin tespit edilerek, optimum sonuca ulaşmak kullanıcı konforu ve enerji verimliliği açısından önem teşkil etmektedir. Fiziki çevre koşulları değerlendirilirken, ışık raflarının günışığının iç mekâna homojen biçimde aktarılması ve güneş kontrolü sağlanması gibi birincil fonksiyonları dışında, rüzgâr kırıcı olarak çalışma durumu da göz önünde bulundurularak çok boyutlu ve kapsamlı bir yaklaşım geliştirilmelidir. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) yöntemini kullanan simülasyon modelleri, tasarımın ilk aşamasında rüzgâr etkilerine ilişkin bilgi vermekte, bu sayede farklı tasarım seçeneklerini değerlendirmek ve doğal havalandırma performansını optimize etmek mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada, ofis amaçlı kullanılan bir hacimde ışık rafının derinlik parametresi değişken olarak alınarak, rafın

pencerenin iç ve dış yüzeylerinde yer alma durumlarına göre günışığı ve CFD simülasyonları üzerinden karşılaştırmalı analizler yapılmıştır. Sayısal analiz çalışması sonucunda, ışık rafının konumu ve derinliğinin günışığı ve doğal havalandırma performansını etkileyebildiği, güneş ışığına bağlı kamaşma riskinin oluşabildiği ve hava akımının ayrıştığı alanların tespit edilebildiği ortaya konmuştur.

TS EN 17037 standardına göre, ele alınan ofis hacminin tamamında yeterli günışığı aydınlığının elde edildiği, ancak pencereye yakın alanlarda yüksek aydınlık düzeyleri nedeniyle konforsuzluk durumu oluşabileceği görülmüştür. Belirlenen gün, saat ve gök koşulu için yapılan günışığı analizlerinde, ışık rafının pencerenin iç yüzeyinde olduğu durumda bu durumun daha fazla ortaya çıkabileceği görülmüştür. Ancak ileride yapılacak çalışmalarda görsel konfor koşullarının sağlanması açısından günışığının zaman içerisindeki değişken durumu göz önünde bulundurularak, kamaşma analizinin de dahil edildiği dinamik günışığı hesaplama yöntemleri kullanılarak kapsamlı bir çalışma yapmak faydalı olacaktır.

Işık rafının rüzgâr ile etkileşimi analiz edildiğinde, raf yüzeyine çarpan rüzgârın ayrıştığı ve ayrışma hattı boyunca hızda katmanlaşma oluştuğu, bununla birlikte türbülanslı alanların ortaya çıktığı görülmüştür. İç mekânda ise ışık rafının bulunduğu cepheye yakın alan dışında hava hareketlerinin düzenli olduğu, ancak rüzgâr hızının yetersiz olması ve istenilen hava hareketini sağlamaya yetmemesi nedeniyle doğal havalandırma performansının zayıf olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada tek bir hacim içindeki ve etrafındaki hava akış karakteristiği incelenmiştir. İleride yapılacak çalışmalarda birden fazla yapının birbirlerine olan etkisi incelenebilir. Bununla birlikte, yüksek yapılar rüzgâr yönüne ve yüksekliğe bağlı olarak çok farklı akış karakteristiği gösterebilmektedirler. Çalışmanın kapsamı genişletilerek yapı yüksekliğinin etkisi değerlendirilebilir. Ön tasarım aşamasında yapılacak bu analizler, farklı ışık rafı tasarım alternatiflerinin karşılaştırılarak doğal aydınlatma ve yapı-rüzgâr etkileşimi açısından optimum ışık rafı tasarımının belirlenmesinde yol gösterici olacaktır.

## KAYNAKLAR

1. P.J. Littlefair, *Developments in Innovative Daylighting*, IHS BRE Press: Bracknell, UK, 2000.
2. M.E. Aizlewood, "Innovative daylighting systems: An experimental evaluation," *International Journal of Lighting Research and Technology*, 25, 1993, pp: 141–152.
3. M.S. Mayhoub, "Innovative daylighting systems' challenges: A critical study," *Energy and Buildings*, 80, 2014, pp: 394–405.
4. A. Kontadakis, A. Tsangrassoulis, L. Doulos, S.A. Zerefos, "Review of Light Shelf Designs for Daylit Environments," *Sustainability*, 10(1), 71, 2018.
5. A.K. Yener, "Binalarda Günışığından Yararlanma Yöntemleri: Çağdaş Teknikler," *VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 25-28 Ekim, 2007.
6. W.N. Hien, A.D. Istiadji, "Effects of external shading devices on daylighting and natural ventilation," *Building Simulation, In: Proceeding of the 8th International IBPSA Building Simulation Conference (BS 2003)*, Eindhoven, Netherlands, 2003.

7. C. Kurtay, O. Esen, "Ofis yapıları için ışık rafı tasarımında 30° ve 45° enlemlerinde optimum verim sağlanması için bir yöntem," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(2), 2019, pp: 835-843.
8. G.A. Warriier, B. Raphael, "Performance evaluation of light shelves," *Energy and Buildings*, 140, 2017, pp: 19-27.
9. A. Abdulmohsen, L. Boyer, L. Degelman, "Evaluation of lightshelf daylighting systems for office buildings in hot climates," *In: Proceedings of the Ninth Symposium on Improving Building Systems in Hot and Humid Climates*, Arlington, TX, USA, 19–20 May, 1994.
10. TS EN 17037, Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Binalarda Günışığı Standardı, 2019.
11. J. Mardaljevic, M. Andersen, N. Roy, J. Christoffersen, "Daylighting metrics: Is there a relation between useful daylight illuminance and daylight glare probability?" *In Proceedings of the Building Simulation and Optimization Conference BSO12*, Loughborough, UK, 10–11 September, 2012.

# MEVCUT BİR YERLEŞKENİN EKOKÖY BAĞLAMINDA GELİŞTİRİLMESİ VE ENERJİ ETKİNLİK AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Aslıhan Ula <sup>1</sup>  
Gül Koçlar Oral <sup>2</sup>  
İTÜ Mimarlık Fakültesi, Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

## ÖZET

*Kırsal alanda ekonomik ve sosyal gücü bulamayan insanların, kentlere göç etmesi; tarım alanlarının terk edilmesi, kültürlerin yok olması gibi birçok sorunu beraberinde getirmektedir. 1960'lı yıllar itibarıyla alternatif sürdürülebilir yaşam alanları oluşturmak için eko-köy hareketi doğmuştur. Ekoköyler; ekonomik, sosyal, ekolojik ve kültürel açıdan belirli kriterleri sağlayan ve sürdürülebilir topluluk bilinci ile oluşan ekolojik yerleşim yerleridir. Ülkemizde de ekoköy uygulamaları gerçekleşmekte ancak çoğu sürdürülebilir olmamaktadır. Bu bildiri kapsamında, ülke şartlarına uyum sağlayabilecek, geleneksel yaşamı benimsemiş olan çiftçiye, üretim ve barınma desteği sağlayan tarımköy kavramının örneklerini oluşturan TOKİ uygulamalarından mevcut bir proje referans alınarak ekoköy kapsamında değerlendirilmiştir. Referans proje olarak Karaman Bölükyazı Tarımköyü ele alınmıştır. Referans tarımköye ait iç ve dış çevre verileri DesignBuilder programı üzerinden simüle edilmiştir. Sonuçların değerlendirilmesine bağlı olarak mevcut tarımköy için ekoköy yaklaşımı kapsamında yeni bir vaziyet planı önerisi geliştirilmiştir. Vaziyet planında seçilen referans binalar için bina kabuğunda geleneksel mimaride kullanılan malzemelerden yararlanılarak uygulanan enerji etkin önerilerle enerji simülasyonu tekrarlanmış ve bulgular değerlendirilmiştir. Yerleşim için ayrıca güneş ve rüzgar enerjisinden yararlanma önerileri de geliştirilerek harcanan enerjinin karşılanabilirliği incelenmiştir.*

*Anahtar sözcükler: Ekoköy, Tarımköy, Enerji Etkinliği, Yenilenebilir Enerji Kaynakları*

## ABSTRACT

*Migration of people who cannot find economic and social power in rural areas to cities; It brings with it many problems such as abandonment of agricultural areas and extinction of cultures. As of the 1960s, the eco-village movement was born to create alternative sustainable living spaces. Ecovillages; They are ecological settlements that meet certain economic, social, ecological and cultural criteria and are formed with sustainable community awareness. Ecovillage practices also occur in our country, but most of them are not sustainable. Within the scope of this declaration, an existing project from TOKİ practices, which exemplifies the agricultural village concept that provides production and shelter support to farmers who can adapt to the country's conditions and have adopted a traditional life, has been evaluated within the scope of Ecovillage as a reference. Karaman Bölükyazı Tarımköyü was taken as the reference project. Internal and external environmental data of the reference agricultural village were simulated through the DesignBuilder program. Based on the evaluation of the results, a new site plan proposal was developed for the existing agricultural village within the scope of the ecovillage approach. For the reference buildings selected in the site plan, the energy simulation was repeated with energy efficient suggestions applied using materials used in traditional architecture in the building envelope and the findings were evaluated. Suggestions for utilizing solar and wind energy for the settlement were also developed and the affordability of the energy consumed was examined.*

*Key words: Ecovillage, Tarımvillage, Energy Efficiency, Renewable Energy Resources*

<sup>1</sup> e-posta adresi: aslhan.ymrtci@gmail.com

<sup>2</sup> e-posta adresi: kgul@itu.edu.tr



## 1.GİRİŞ

Türkiye’de 1950’li yıllardan itibaren kentlerde artan sanayileşmenin yarattığı istihdam kırsaldan kente göçü başlatmıştır. Kırsalda yaşayan halkın ekonomik ve sosyal nedenlerle kentlere göç etmeye başlaması problemleri de beraberinde getirmektedir. Bunlar; verimli tarım arazilerin terk edilmesi, kırsal nüfusun azalması gibi birçok problemleri oluşturur. Diğer yandan kent halkı da göçe bağlı sorunlar yaşamaya başlamaktadır. Bunlar; plansız nüfus artışı, altyapı yetersizliği, çevre kirliliği, hızlı ve yanlış yapılaşma gibi birçok sorunu kapsamaktadır. Bu sorunlardan rahatsızlık duyan ve sayıları artmaya başlayan kent insanları kırsalda yaşamayı hedeflemektedir. Bu kapsamda, insanların ihtiyaçları ve istekleri değerlendirildiğinde kırsal alanlarda sürdürülebilir bir yaşam olanağının araştırılması gerekli olmaktadır. Bu bağlamda ekoköyler alternatif sürdürülebilir yaşam alanları oluşturmak için bir çözüm olarak düşünülebilir.

Dünyada 1960’lı yıllardan günümüze sayıları giderek artan sürdürülebilir yerleşim yerlerinden ekoköyler, kentlerden kırsala dönen insanların doğaya en az zararlı doğal ve yerel olanı yenilikçi yöntemler geliştirerek kurulan, birlikte yaşamın benimsendiği yerleşimlerdir. Konu ülkemiz açısından ele alındığında, ülkemizin gayrisafi yurtiçi hasılasının (GSYH) büyük bir kısmının tarım ve hayvancılık sektörüne dayandığı da göz önünde bulundurulduğunda TOKİ’nin kırsal yerleşimlerdeki göçe karşı oluşturduğu tarımköyler ekoköylere bir diğer alternatif olarak görülebilmektedir. TOKİ’nin bu oluşumdaki temel amacı, kültürel dokuyu bozmadan, kent merkezlerindeki altyapı ve sosyal tesis olanaklarını köylere götürmektir. Aynı zamanda bu proje ile yeni teknolojilerden yararlanarak üreten köyler oluşturmak, terk edilmiş köyleri ve kaynakları devlete kazandırmak, halkın sosyal yaşantısını iyileştirmek ve yerel mimariyi koruyarak geliştirmek hedeflenmiştir [1].

Bu bildiri kapsamında kırsalda yaşama hedefine yönelik olarak ekoköylerdeki benimsenmiş kriterler baz alınarak, TOKİ’ye ait mevcut bir yerleşim olan TOKİ Karaman Bölükyazı Tarımköyü seçilmiş ve vaziyet planı üzerinden yeni bir yerleşim alternatifi geliştirilmiştir. Bununla birlikte tarımköye ait iç ve dış çevre verileri araştırılarak tarımköyde seçilen binalar için enerji etkinliği simülasyon aracılığı ile değerlendirilmiştir. Bu Enerji simülasyonu için Design Builder programı kullanılmıştır. Simülasyon mevcut yerleşim ve alternatif yerleşim için yapılarak simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Ayrıca yerleşimin enerji ihtiyacını karşılayabilecek yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş ve rüzgar enerjisi sırasıyla PV panel ve rüzgar türbini kullanımı değerlendirilerek bu yollarla enerji ihtiyacının hangi düzeyde karşılanabileceği irdelenmiştir.

## 2. EKOKÖY VE TARIMKÖY KAVRAMLARININ İNCELENMESİ VE ÖRNEKLER ÜZERİNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde ekoköy ve tarımköy kavramları örnekler üzerinden incelenerek değerlendirilmiştir.

### 2.1. Ekoköy ve Tarımköy Kavramı

Ekoköy kavramı, “ekoloji” ve “köy” kelimelerinin birleşmesinden meydana gelen bir kelimedir. Ekoköyleri açıklayan net bir tanım olmamakla birlikte temelde ekoköyler insan çevresini doğal çevreyle bütünleştirmek için sistematik bir yaklaşım olarak benimsenmiştir. 1920 yılında İzlanda’da kurulan Solheimar yerleşkesi gibi ekolojik yerleşim girişimleri olsa da ekoköy

kavramına ilk kez 1991 yılında Robert ve Diane Gilman tarafından yayınlanan Ecovillages and Sustainable Communities (Ekoköyler ve Sürdürülebilir Topluluklar) adlı makalesinde yer verilmiştir. Makalede ekoköyler, insan faaliyetlerinin doğa ile bütünleşik bir şekilde sürdürüldüğü, insanların sağlıklı gelişimini destekleyen ve başarılı bir biçimde kendini devam ettirebilecek insan ölçeğinde bir yerleşim olarak tanımlanmaktadır [2].



Şekil 1: Global Ecovillage Network (GEN) tarafından ekoköylerin değerlendirme başlıkları [3].

Ülkemizde kapsamında çoğu ekoköy uygulamalarının kurulduğundan sonra belirli nedenlerle dağılması göz önüne alınarak ekoköy kavramının ülkemize nasıl uyarlanabileceği konusunda araştırma yapılmış ve TOKİ tarımköy projeleri ile karşılaşılmıştır. Tarımköyler, yaşamın devam ediyor olması ve devlet desteği ile ulaşılabilir olması aynı zamanda üretim amacı olması bakımından seçilmiştir.

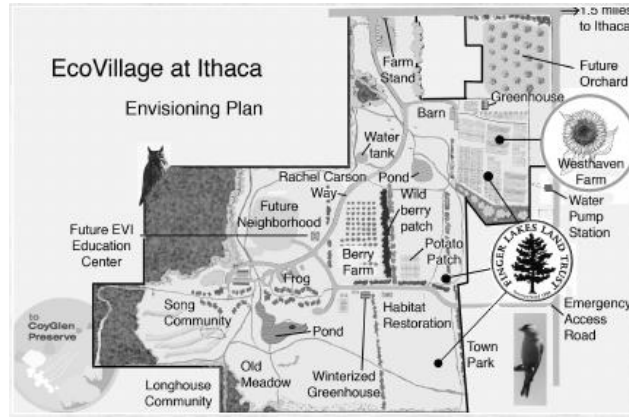
Tarımköy (Agri – village) kavramı sınırları belirlenmiş bir çevrede tarımsal işler ile ilgilenecek çiftçilerin barınması amacı ile inşa edilmiş bir yerleşim yeri ve üretim alanıdır [4]. Tarımköy kavramı olarak kullanılsa da insanların avcılıktan tarıma geçişinin ilk örneği olarak Çatal Höyük yerleşimi verilebilir. Alışla gelmiş olan avcılık düzeninden çiftçiliğe geçiş ile yerleşim seçimi tamamıyla değişikliğe uğramıştır. Sonraki dönemlerde seçilen yerleşim yerlerine bakıldığında su kaynaklarına yakın tarım odaklı yerlerin tercih edildiği ve o bölgelere kentler kurulduğu gözlenmektedir.

Toki tarımköy projesinin asıl amacı geçim sıkıntısı çeken, arazileri istismal edilmiş, kırsalda yaşayan halkın tarımsal faaliyetlerini devam ettirmeye teşvik etmek ve bu sayede üretim ve verimliliği arttırmaktır. Ekoköylerde ise ortak bir amaç doğrultusunda birlikte yaşamı kabul etmiş ekolojik toplulukların oluşturduğu yerel ve doğal olanın ön planda olduğu yerleşimlerdir. Tarımköylerde kırsalda yaşayanın göç etmek yerine kırsalda yaşamaya devam etmesi amaçlanırken, ekoköylerde kent problemlerinden uzaklaşmak ve kırsalda yaşamak isteyenlerin bir oluşumdur.

## 2.2. Ekoköy Örnekleri

Ekoköy yerleşim örnekleri Türkiye’den ve Dünya’dan örnekler ile incelenmiştir. Ülkemiz kapsamında çoğu ekoköy uygulamalarının kurulumundan sonra belirli nedenlerle dağılmasından dolayı bildiri kapsamında dünyadan 3 farklı ekoköy örneği tanıtılmıştır. Bunlar; Ithaca Ekoköyü, Findhorn Ekoköyü ve Auroville Ekoköyüdür.

Ithaca Ekoköyü, sağlıklı yaşam, barınma, gıda ve enerji gibi ihtiyaçlarını karşılamak için alternatif bir deneysel öğrenim yeridir. 175 Dönüm arazi üzerinde 9 dönümden daha az bir alana 3 mahalle olarak kurulmuştur. Ekoköy içerisinde; çiftlikler, ofisler, ortak evlerde ortak yemek, yüzme havuzu, mahalle topluluk bahçeleri, yürüyüş parkurları, oyun alanları, 85 enerji verimli ev, 15 dairesel ortak bir ev, gölet ve ormanlık alanları bulunmaktadır. Arazinin %90’ından fazlası açık alanlar olarak değerlendirilmiştir [5].



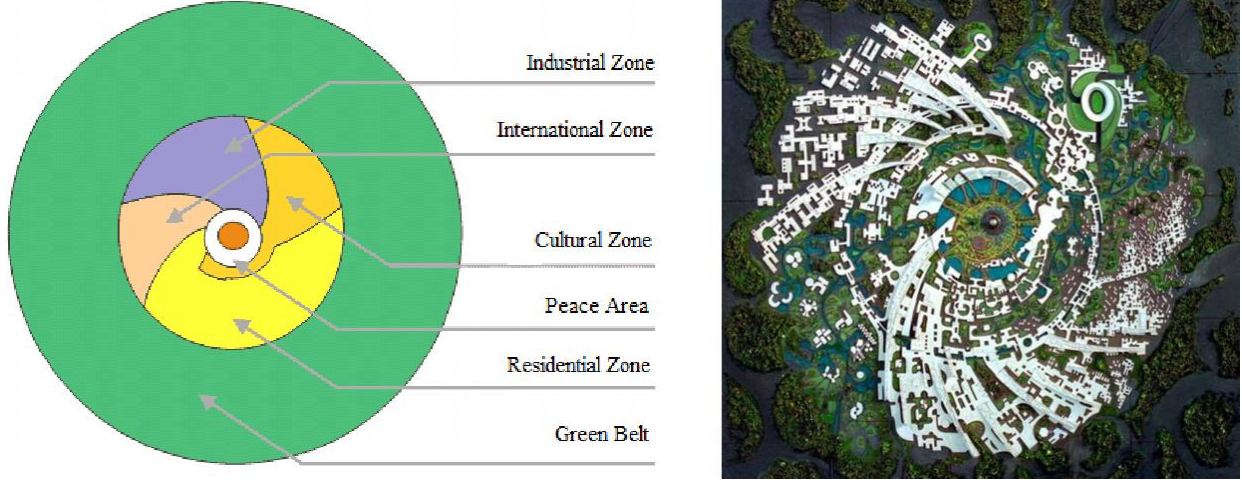
Şekil 2: Ithaca Ekoköyüne ait vaziyet planı (Bill Webber, EcoVillage at Ithaca Envisioning Plan, 2004)

Findhorn Ekoköyü, yenilenebilir enerji kaynakları, enerji verimliliği, biyolojik atık su arıtma sistemi, geri dönüşüm sistemleri, yerel organik gıda üretimi, sürdürülebilir ekonomi, detaylı düşünülmüş karar alma süreçleri gibi alanlarda kayda değer gelişmeleri olan bir topluluktur. Ekolojik yaşantının uygulamaya geçirilebileceğinin kanıtını oluşturan 61 adet ekolojik yapı bulunmaktadır [6].



Şekil 3: Findhorn Ekoköyüne ait görseller sırasıyla; Viski varilinden yapılan konutun iç mekan görüntüsü, Sıcak su sistemleri için konut çatısında yer alan solar paneller, Findhorn Eko-köyü su arıtma serasıdır.

Auroville Ekoköyü, çorak arazi üzerine 50000 kişilik nüfusa uygun planlanmıştır. Mevcut nüfusu 60 ülkeden 3300 kişidir. Auroville vaziyet planı üzerinden yeşil bir bölge ile ayrılmıştır. Kuruluş amacı çeşitlilik içinde insan birliğini geliştirmek ve uluslararası anlayışa adanmış bir yerleşim oluşturmaktır [7].



Şekil 4: Auroville Ekoköyüne ait vaziyet planı oluşumu ve kuş bakışı görseli

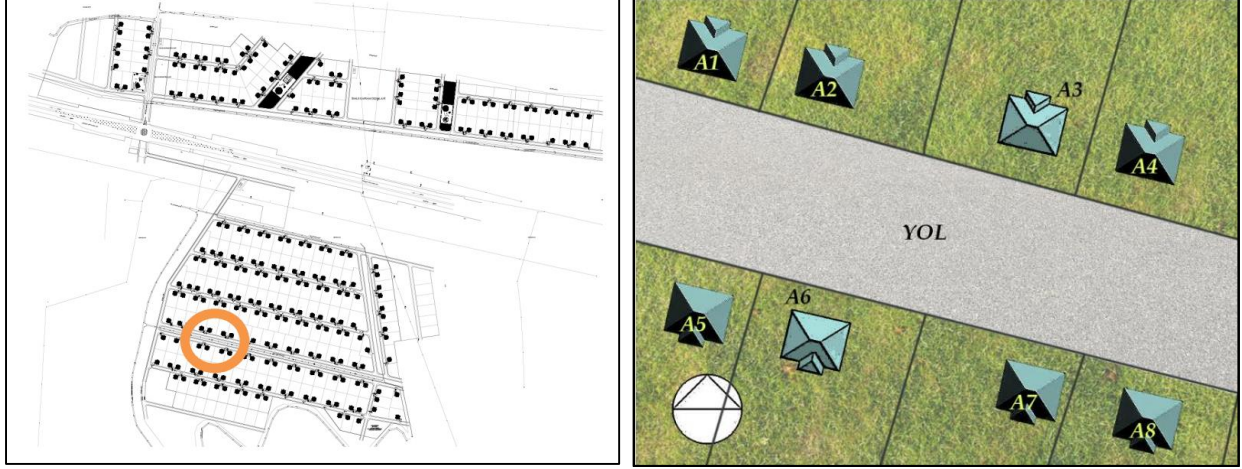
### 2.3. Karaman Bölükyazı Tarımköyü

Karaman ili tarım, hayvancılık ve ekonomik faaliyetleri bakımından gelişmiş bir yerleşimdir. Hem tarım hayvancılık konusunda üretken olması hem de TOKİ'nin tarımköy çalışmasının uygulandığı bir il olması ve yerleşme dokusu açısından ekoköyler ile benzerlik göstermesi nedeniyle TOKİ Karaman Bölükyazı Tarımköy'ünün incelenmesine karar verilmiştir.

Toplu Konut İdaresi (TOKİ), Konya-Karaman yolu üzerinde bulunan araziye 265 konut, 1 cami, altyapı ve çevre düzenlemelerini içeren proje Kasım 2020'de ihaleye çıkmıştır. Proje kapsamında yapılacak konutlar tek katlı ve 2+1 plan üzerinden tasarlanmıştır.

### 3. MEVCUT BİR YERLEŞKENİN EKOKÖY BAĞLAMINDA GELİŞTİRİLMESİ VE ENERJİ ETKİNLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Referans bölgenin Karaman Bölükyazı Tarımköyü olarak belirlenmesinin ardından veriler değerlendirilmiştir. Mevcut vaziyet planı üzerinde yer alan 265 konut için aynı plan tipi farklı yönelimlerle konumlandırılmıştır. Enerji simülasyonu çalışması için seçilen alan ve binalar Şekil 5'de gösterilmiştir. Yönlenmeleri farklı olan A3 ve A6 kodlu konutlar referans bina olarak seçilmiştir (Şekil 5). Referans yerleşime ait enerji etkinlik hesaplamaları için Design Builder programı üzerinden belirlenen bölge modellenmiş, konum bilgisi ve iklim verileri sisteme tanımlanmıştır. Konuma ait hava durumu verileri '.epw' formatında simülasyona yüklenmiştir.



Şekil 5: TOKİ Karaman Bölük yazı Tarımköyü projesi vaziyet planı ve simülasyona dahil olan referans yerleşim

TOKİ'den alınan verileri ile yapı bileşenlerine ait katmanları oluşturan malzemelerin ısı geçirgenlik değerleri ve yapı bileşenlerinin toplam ısı geçirme katsayısı Çizelge 1'de verilmiştir. Çatı yüzde 33 eğime sahip ahşap kırma çatıdır. Bina betonarme bir yapı olup balkon kapısı ve pencereler için kullanılan doğramalar PVC çerçeveli çift camlıdır.

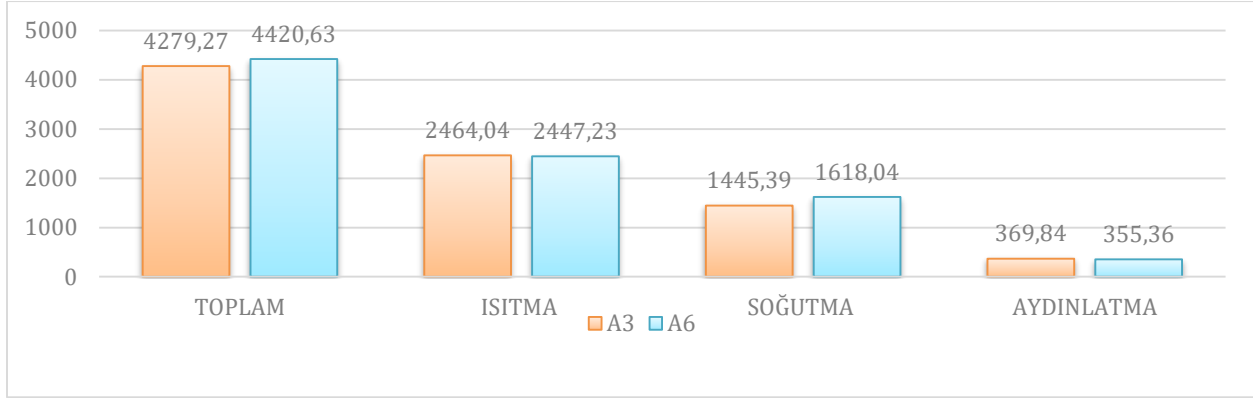
Çizelge 1: Mevcut bina kabuğuna ait veriler

	Malzeme	Kalınlık (m)	Isı geçirgenlik değeri (W/mK)	Toplam ısı geçirme katsayısı U (W/m <sup>2</sup> K)
Dış Duvar Katmanları	Alçı Harcı	0,02	0,7	0,381
	Bims Beton	0,25	0,28	
	Çimento harcı	0,2	1,6	
	Köpük	0,06	0,04	
	Çimento Harcı	0,03	1,6	
Çatı Katmanları	Alçı	0,02	0,51	0,303
	Donatılı beton	0,14	2,5	
	Isı yalıtım	0,12	0,04	
Döşeme Katmanları	Çimento şap	0,05	1,4	0,397
	Donatısız beton	0,05	1,65	
	EPS köpük	0,06	0,03	
	Donatılı beton	0,4	2,5	
	Donatısız beton	0,05	1,65	
	su yalıtım	0,006	0,19	
	Donatısız beton	0,1	1,65	
Pencere	Çift Cam			3
Dış kapı				3,5

Yerleşimde A3 ve A6 binaları için simülasyon sonuçlarına bakıldığında; A3 binasının yıllık toplam enerji tüketim miktarı 4279,27 kW iken A6 binası için yıllık toplam enerji tüketimi 4420,63 kWh'dır. A3 binası için ısıtma, soğutma, aydınlatma yükleri sırasıyla, 2464,04 kWh, 1445,39 kWh, 369,84 kWh ve A6 binası için ısıtma soğutma aydınlatma yükleri sırasıyla 2447,23 kWh, 1618,04 kWh, 355,36 kWh 'dir. Simülasyon çıktıları değerlendirildiğinde binalarda farklı yönelimlere

rağmen ısıtma yüklerinde belirgin bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Ancak soğutma enerjisi tüketimleri değişmekte ve toplam yükteki farkın büyük bölümü soğutma yükünden kaynaklanmaktadır. A3 binası için kuzey cephesinde yer alan pencere büyüklükleri güney yönündeki pencerelere göre daha büyük iken A6 binasında güney yönündeki pencereleri kuzey yönündeki pencerelere göre daha büyüktür. Aydınlatma enerjisi tüketimleri karşılaştırıldığında A3 binasının aydınlatma enerjisi harcamaları A6'ya göre daha fazla olduğu görülmektedir.

**Çizelge 2:** Referans binalara ait enerji tüketim değerleri karşılaştırması.



### 3.1. Mevcut Yerleşim Düzeninin Ekoköy Bağlamında İyileştirilmesi

Mevcut yerleşimin ekoköy bağlanımında iyileştirmesi için öncelikle örnekler üzerinden ekoköylerin genel özellikleri araştırılmıştır. Bu bağlamda ele alınan tarımköye ekoköy kapsamında özellikler kazandırmak için yapılması gerekenler irdelenmiştir. Ekoköylerin en belirgin özelliği ortak bir amaçlarının ve yaşam şekillerinin olmasıdır.

Ekoköyleri vaziyet planları üzerinden incelendiğinde yerleşimin %90'ı yeşil alanlarla, kalan %10'luk kısmın yapılaşma olan alanlarla sınırlandırıldığı görülmektedir. Mevcut yapılaşmaların ise insan ölçeğinde binalar üzerinden tasarlandığı görülmektedir. Ekoköylerin yaygın bir özelliği büyük mutfak, çamaşırhane gibi birlikte yemek yenilen birlikte çamaşır yıkanan alanlar gibi ortak yaşam alanları olmasıdır. Ortak yaşam alanı enerji ihtiyaçlarını azaltmak ve sosyal ilişkileri arttırmak bakımından önem taşımaktadır. Aynı zamanda ekoköylerin genelinde yenilenebilir enerji kaynağı, yağmur suyu toplama ve arıtma su tesisi bulunmaktadır.

Vaziyet planı tasarımında dikkat edilmesi gereken önemli bir konu ise yerleşimde yaşayacak kişilerin ihtiyaç ve beklentilerini karşılamaktır. Tüm ihtiyaç ve beklentiler sürdürülebilirlik ilkeleri ve doğadaki etkileri düşünülerek tasarlanmalıdır. Tarımköylerde yaşayacaklar için sadece konut binası, cami ve oyun alanları yeterli değildir. Tarımköy halkının kültürel, sosyal, ekonomik ihtiyaçlarının ekolojik standartlar kapsamında bütüncül düşünülmesi önemlidir. Dolayısıyla bu çalışmada, sağlık ocağı, atölyeler, okul- eğitim merkezi, kütüphane, toplanma alanı (merkez), çiftçiye ürünlerini pazarlayabileceği satış tezgahları, spor alanları, atık merkezi gibi alanların eklenmesi önerisinde bulunulmuştur. Buna ek olarak çevrede bulunan tarım alanları tarımköye dahil edilmiştir. Böylece her ev sahibinin kendi özel bahçesi ve çevrede iş birliği ile çalıştıkları tarım alanı ve hayvancılık bölümleri belirlenmiştir. Araziyi ikiye ayıran Konya- Karaman yolu avantaja çevrilmiş ve yola paralel kuzeyde 'çarşı sokak' ve güneyde 'pazar sokak'

konumlandırılmıştır. Bu sokaklar üzerinde meyve, sebze ve tahılların satış stantları bulunmaktadır. Bu stantlar sayesinde üreten çiftçinin taşıt yolu üzerinden de satış yapabilmesi, böylece tarımköye ekonomik açıdan gelir sağlanması hedeflenmiştir. Konutlar güney bölgede konumlandırılmış ve sayısı yeni planda 265'ten 118'e düşürülerek daha çok yeşil alan ve sosyal alan bırakılmıştır. Ekoköy olduğu gibi toplulukların birbirlerini daha yakından tanıyabilmesi için yerleşim mahallelere bölünerek daha az nüfuslu olması böylece tarımköy sakinlerinin sosyal ilişkilerini kuvvetlendirmeleri amaçlanmaktadır. Üç farklı mahalle Çiftlik, Toprak ve Merkez mahalleleri olarak adlandırılmıştır. Mahallelerin hepsinden eşit mesafede ulaşılabilen merkez nokta ve onu çevreleyen kütüphane, atölye, tiyatro sahnesi ve okul bulunmaktadır. Mevcut tarımköy planında yer verilmemiş olan bu alanlar kültürel açıdan tarımköye katkı sağlaması hedeflenmiştir. Tüketilen enerjinin yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması kapsamında, güneş panelleri hem çatılarda hem de güney doğu kısmında planlanan güneş tarlası ile mevcut güneşlenmeyi avantaja çevirmek hedeflenmiştir (Şekil 6).



Şekil 6: Karaman Bölük yazı Tarımköy'ü için öneri vaziyet planı alan çalışması.

Konya-Karaman yolunun ayırdığı kuzey bölümünde sosyal aktiviteler yerine tarım, hayvancılık, atık toplama ve yenilenebilir enerji kaynağı olan rüzgar türbinleri planlanmıştır. Alanın özellikle bir tarımköy olmasından oluşacak organik atık miktarı diğer yerleşim yerlerine göre çok daha fazla olacağı düşünülmüştür. Bu yüzden bir organik atık tesisine ihtiyaç vardır. Böylece tesiste organik atıklar kompost haline getirilerek tarım alanları için bitkisel gübre sağlanması, üretilen fazla gübre ise çevre köylere satılarak gelir elde edilmesi hedeflenmiştir. Bölgenin yenilenebilir enerji kaynaklarının avantajından faydalanarak hakim rüzgar yönü olan kuzey batıya rüzgar türbini önerilmiştir. Hem rüzgar türbinlerinden hem de güneş panellerinden elde edilecek fazla enerjiyi depolamak amaçlı bir jeneratör alanı belirlenmiştir. Rüzgarın az, havanın bulutlu olduğu günlerde depolanan enerjinin harcanması düşünülmektedir. Yağmur suyunu toplamak amaçlı bir yağmur suyu

toplama göleti düşünülmüştür. Gölet mevcut tarım arazilerinin sulanması için bir kaynak oluşturabildiği gibi, diğer yandan oradaki canlı ekosistemine bir katkı oluşturması planlanmıştır. Suyun tarım arazilerine ulaştırılması için göletin yakınında bir su pompası düşünülmüştür (Şekil 6).

### 3.2. Enerji Performansının İyileştirilmesine Yönelik Enerji Etkin Tasarım Alternatiflerinin Geliştirilmesi

Karaman ili TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standardına (2013) göre 3. Bölge derece gün bölgesinde yer almaktadır. Standartta belirtilen U değerleri referans alınarak mevcut bina, geleneksel malzemeler kullanılarak standarttaki değerlerin sağlanması hedeflenmiştir. Örnek ekoköylerde olduğu gibi kullanılacak malzemenin yerel ve doğa ile uyumlu malzeme seçilmesi önem taşımaktadır. Bu yüzden Karaman'ın geleneksel mimarisi incelenmiş, genel olarak taş temel üzerine kerpiç yapılardan oluştuğu tespit edilmiştir. Ahşap malzemeler de yaygın kullanıma sahiptir [8]. Geleneksel yapılarda tercih edilen malzeme özellikleri; doğal, hava geçirgen ve en önemlisi geri dönüştürülebilir olmasıdır. Bu bağlamda mevcut binanın yapı kabuğunda Çizelge 3'te verilen geleneksel malzemelerin ve ahşap çerçeveli 4+16+4 Argon gazlı Low-e cam kullanıldığı varsayılarak alternatif A3 binası oluşturulmuş ve enerji tüketimleri hesaplanarak mevcut binanın enerji tüketimleri ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3: Alternatif A3 binası yapı katmanları.

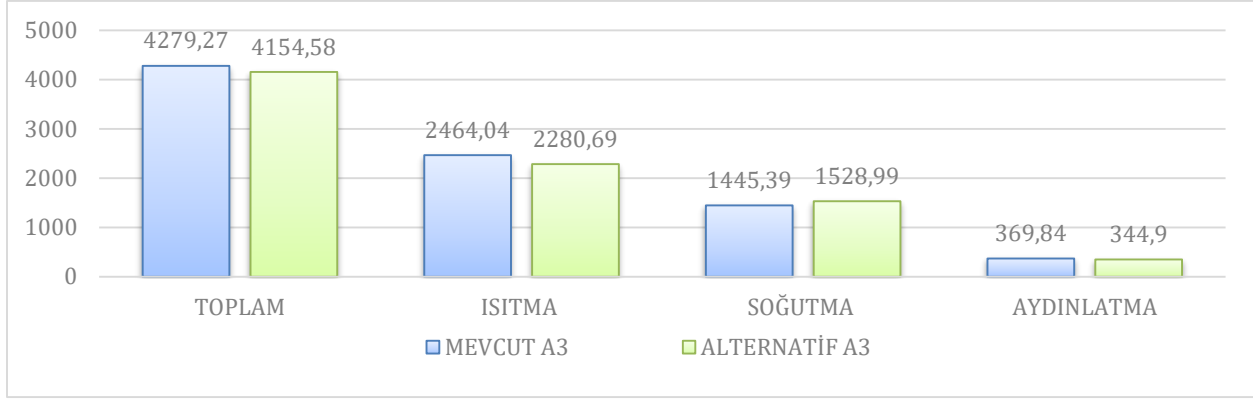
	Malzeme	Kalınlık (m)	Isı geçirgenlik değeri (W/mK)	Toplam ısı geçirme katsayısı U (W/m <sup>2</sup> K)
Dış Duvar Katmanları	Çamur sıva	0,025	0,40	0,35
	Organik Yalıtım	0,06	0,055	
	Kerpiç Tuğla	0,50	0,40	
	Çamur Sıva	0,025	0,40	
Çatı Katmanları	Ahşap Çatı Örtüsü	0,020	0,12	0,25
	Membran	0,005	0,50	
	Organik Yalıtım	0,12	0,055	
	Kamış Tavan Levhası	0,10	0,085	
	Ahşap Çatı Kirişleri	0,020	0,14	
Döşeme Katmanları	Ahşap Parke	0,020	0,14	0,32
	Organik Yalıtım	0,06	0,055	
	Taş Zemin	0,50	0,35	
	Grobeton	0,10	0,38	
	Sıkıştırılmış Toprak	0,030	1,28	
Pencere	Ahşap Çerçevesi 4+16+4 Argon gazlı Low-e cam			2,725
Dış kapı	Ahşap Kapı	0,020		3,63

Mevcut ve alternatif binalara ait toplam enerji tüketimleri karşılaştırıldığında mevcut durumda (Mevcut A3) tüketilen yıllık enerji 4279,27 kWh iken binanın iyileştirildiği durumda (Alternatif A3) tüketilen yıllık enerji 4154,58 kWh'tir. Isıtma, soğutma, aydınlatma enerji tüketimleri sırasıyla incelendiğinde mevcut A3 için 2464,04 kWh, 1445,39 kWh ve 369,84 kWh iken yapılan



iyileştirmeler sonucu Alternatif A3 yapısı için ısıtma soğutma aydınlatma enerji tüketimleri sırasıyla 2280,69 kWh, 1528,99 kWh, 344,9 kWh olarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 4:** Mevcut A3 ve Alternatif A3 için enerji tüketimlerinin karşılaştırılması.



Sonuç olarak yapı kabuğunda geleneksel malzemelerin kullanılması ile oluşan alternatif konutun yıllık elde ettiği tasarruf miktarı 124,69 kWh'tir. Tüm yerleşim için düşünüldüğünde 118 konut için sağlanan tasarruf 14.713,42 kWh'tir.

### 3.3. Yenilenebilir Enerji Kullanımı

Dünya genelinde artan enerji ihtiyaçları nedeniyle mevcut kaynakların doğru ve verimli kullanılması gerekliliği kaçınılmazdır. Gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakmak için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı önem taşımaktadır. Ekolojik yerleşim önerisi için diğer ekolojik yerleşim örneklerinde olduğu gibi yenilenebilir enerji kaynağı kullanımı ile ihtiyaç duyulan enerjiyi sağlamak hedeflenmiştir. Bunun için ilk olarak mevcut yapılarda çatıların güneşe bakan yüzeylerine güneş panelleri konularak üretilen enerji miktarı ve üretilen bu enerjinin tüketilen enerjiyi karşılama oranı incelenmiştir. Binaları çatısına yerleştirilmesi planlanan fotovoltaik paneller için 235W güce sahip Polikristal bir güneş paneli (Sunmodule SW 235 poly/Version 2.0 and 2.5 Frame) seçilmiştir. Seçilen paneller 156 mm x 156 mm boyutlara sahip ve her bir panelde polikristal tipte 60 adet hücre bulunmaktadır. Yeni yerleşim planında bulunan 118 konutun her biri için çatına 18 adet PV panel yerleştirilmiştir. Enerji kazanımını hesaplamak için Design Builder programına PV panel özellikleri ile eklenerek modellenmiş ve simüle edilmiştir.

Yerleşmedeki bir konutun enerjisi harcamasının 4154,58 kWh olduğu kabul edilmiştir. Bir konutun çatısındaki PV panelleri yıllık 7815,68 kWh enerji üretilmektedir. Tek bir konut için üretilen enerjinin 3661,1kWh'lık kısmı konutların tükettiği enerji miktarından fazladır. Üretilen fazla enerji ortak binaların, tarım alanlarının, dükkanların veya yakın çevre köylerin kullanımına sunulmak üzere şebekeye enerji sağlanabilir.

Güneşten kazanılan enerji özellikle yaz aylarında ihtiyacı fazlasıyla karşılarsa da havanın kapalı olduğu durumlarda veya ihtiyacın anlık arttığı durumlarda güneş enerjisi her zaman yeterli gelmeyebilir. Bunun önüne geçebilmek adına tarımköy için alternatif bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak rüzgar enerjisi de önerilmiştir. Arazinin hakim rüzgar yönü olan kuzey batıya rüzgar

türbinlerinin bulunduğu bir alan tasarlanmış ve bu alanda kaç rüzgar türbini ile yerleşimdeki konutların enerji ihtiyacının karşılanabileceği hesaplanmıştır.

Yerleşmedeki bir konutun enerji tüketiminin 4154,58 kWh olduğu kabul edilmiştir, 118 konut için gereken toplam enerji ise yaklaşık 490.240,44 kWh'tir. Bu bilgiler ele alınarak WindExchange web sitesi üzerinden indirilen 'small\_wind\_economic\_model' programı (excel) üzerinden hesaplamalar yapılmıştır [9]. REPA'dan alınan verilere göre Karaman'da 100 m'den yıllık ortalama rüzgar hızlarına bakıldığında minimum rüzgar hızı 1,99m/s, maksimum rüzgarı hızı 8,74 m/s olarak kaydedilmiştir. Yıllık ortalama rüzgar hızı ise 4,94 m/s olarak ölçülmüştür. Hesaplamalarda Karaman merkezin deniz seviyesinden yüksekliği 1039 m olarak eklenmiştir [10]. Seçilen türbinin konutlara uzaklığı oluşacak gürültüden dolayı minimum 60 m uzaklıkta olmalıdır. Dolayısıyla, vaziyet planında türbinler yerleşim yerinden uzakta planlanmıştır. Hesaplamalarda kullanılacak rüzgar türbinine karar verirken türbinini aktive eden hız değeri ve verimli çalışacağı rüzgar hızına göre seçilmeye çalışılmıştır. Ortalama değerler ile kıyaslandığında minimum hız değeri 1,99 olduğu için 2 m/s hızla aktive olan bir türbin seçilmelidir. Ayrıca ortalama rüzgar hızı 4,94 olduğu için tribün alternatifleri arasından 4,94 m/s değerinde en verimli çalışan türbin olan E-20 Hawt (RyseEnergy) seçilmiştir.

Simülasyon sonuçlarına göre harcanan enerjiyi karşılayabilmek için bir adedi 18634 kWh enerji üreten E-20 Hawt serisi rüzgar türbini kullanılmıştır. Araziye 27 adet türbin kurulması ile şebekeden enerji almadan konutların enerji ihtiyacı karşılanabilmektedir.

#### 4. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında mevcut yerleşimde enerji etkin iyileştirmeler için alternatifler sunulmuş, enerji performansını iyileştirmeye yönelik çalışmaların önemini vurgulamaktadır. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretilerek hem mevcut tüketimi karşılamak hem de çevresel etkiyi azaltmak hedeflenmiştir.

Enerji simülasyonu DesignBuilder programı kullanılarak mevcut proje verileri ile kendi içinde değerlendirilmiş, binaların yönlendiriliş durumuna bağlı olarak ısıtma enerji harcamalarında çok büyük farklar olmadığı ancak saydamlık oranlarına bağlı olarak soğutma enerjisinin harcamalarında etkili olduğu gözlemlenmiştir. Ekolojik ve sürdürülebilirlik kapsamında verimliliğini artırmak adına mevcut bina kabuğunda kullanılan yalıtımın geleneksel malzeme ile yapılan iyileştirme önerisi, harcanan enerji miktarını azaltırken aynı zamanda yerel malzemenin kullanılması ile mevcut binanın karbon ayak izini azalması hedeflenmiştir.

Vaziyet planı üzerinden yerleşimde yaşayacak insanların ihtiyaçları göz önünde tutularak bölgeyi ekonomik, kültürel, sosyal açıdan geliştirecek yeni alanların eklenmesi önerisinde bulunulmuştur. Ekoköy örnekleri üzerinden yerleşim planları incelenmiş ve mevcut tarımköy yerleşim planı çıkarılan sonuçlara göre revize edilmiştir. Böylece yerel halkı üretime teşvik etmek, göçü azaltmak hedeflenmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı kapsamında güneş enerjisinden yararlanarak mevcut binanın sadece güneyine yerleştirilen PV panellerin temel enerji tüketimlerini karşılayabildiğini, rüzgar enerjisi ile ise 27 adet türbinin yerleşimdeki konutların temel enerji tüketimlerini

karşılayabildiği sonucuna varılmıştır. Böylece kendi enerjisini üretebilen, sosyal ve ekonomik açıdan güçlü, sağlıklı, sürdürülebilir yerleşmelerin gerçekleştirilmesi mümkün olabildiği gösterilmektedir.

Bu bildiri ile yapılan çalışmanın kırsal alanda ekoköy kapsamında tasarlanacak yeni yerleşimler için örnek teşkil edeceği, ekolojik bilincin ve uygulamaların gelişmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Toplu Konut İdaresi (TOKİ) resmi web sitesi, Faaliyetler – Konut Programı - Tarımköyler yazısı, < <https://www.toki.gov.tr/tarimkoyler>>
2. R. Gilman, D.Gilman , “Ecovillages and Sustainable Communities,” Gaia Trust, (1991).
3. Global Ekovillage Network (GEN) web sitesi, <<https://ecovillage.org/impact/>>
4. Law Insider, < <https://www.lawinsider.com/dictionary/agri-village#:~:text=agri-village%20means%20a%20private,within%20an%20agricultural%20or%20rural>>
5. Ithaca ekoköyü resmi web sitesi,< <https://ecovillageithaca.org/live/>>
6. Findhorn ekoköyü resmi web sitesi, <<https://www.ecovillagefindhorn.com/>>
7. Auroville ekoköyü resmi web sitesi,< <https://auroville.org/>>
8. Ş.S. Kayhan, Kaybedilen Konut Dokusu Karaman Kale Yerleşiminin İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi), Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.(2022)
9. Yenilenebilir Enerji Maliyeti Hesaplayan Elektronik Tablo Aracı < <https://windexchange.energy.gov/projects/economic-tools>>
10. REPA (Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası) verileri <https://repa.enerji.gov.tr/REPA/iller/KARAMAN-REPA.pdf>
11. O. Zeybek, Ekoköy akımı: Tarihi gelişimi ve kent ölçeğinde uygulanabilirliği üzerine bir araştırma (Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara. (2016).
12. M. Gülerüz, Bir Köyü Yeniden Canlandırma Hayali Marmariç Deneyimi, Mimarlık 380, Kırdan/Kentten, Kasım-Aralık 2014.

# YÜKSEKÖĞRETİM MEKÂN LARI ENVANTER SINIFLANDIRMA SİSTEMİ (YMESS) İLE İÇ MEKÂN KALİTESİNE İLİŞKİN ÖLÇÜMLER- TRAKYA ÜNİVERSİTESİ ÖRNEĞİ

Filiz Umaroğulları<sup>1</sup>  
Esmâ Mihlayanlar<sup>2</sup>  
Semihâ Kartal<sup>3</sup>

Trakya Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Makedonya Yerleşkesi, Edirne, 22030

## ÖZET

*Sürdürülebilirlik kavramının temelinde “yüksek yaşam kalitesinin sağlanması” için önemli gerekliliklerden biri iç mekân konfor koşullarıdır. Bu bağlamda Üniversitelerde rasyonel bir mekân planlanması ve kullanımına yönelik alt yapı oluşturmak amacıyla Yükseköğretim Mekânları Envanter Sınıflandırma Sistemi (YMESS) geliştirilmiştir. YMESS’ne göre envanter bilgisi toplama süreci; mekânların sınıflandırılması, kodlanması, numaralandırılması ve ölçülmesi aşamalarından oluşmaktadır. Ölçüm aşaması, metrik ve iç mekân kalitesine ilişkin ölçümler şeklindedir. Bu çalışmada Trakya Üniversitesi’nin farklı dönemlerde inşa edilmiş fakülte, yüksekokul, meslek yüksekokulu, sosyal ve kültürel donatılardan bütünü temsil edebilecek sayıda ve çeşitlilikte mekânlarda iç mekân kalitesi ölçümleri analiz edilmiştir. Aydınlatma, nem ve sıcaklık, CO<sub>2</sub> ve gürültü olmak üzere dört kategoride binaların genelini temsil edecek sayıda ölçümler alınmıştır. Minimum örneklem sayısına göre iç ortam şartlarının belirlendiği ölçümler sonucu elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Bu çalışmalar; yükseköğretim kurumlarının mekânsal kullanım ve iç ortam şartlarının değerlendirilmesine dikkat çekmek, envanter oluşturmak ve verimliliği arttırmak açısından önemlidir.*

*Anahtar sözcükler: YMESS, ısı konfor, iç hava kalitesi, görsel konfor, akustik konfor*

## ABSTRACT

*One of the most important prerequisites for "ensuring a high quality of life" based on the concept of sustainability is indoor comfort conditions. In this context, the "Higher Education Spaces Inventory Classification System" (YMESS) for rational space planning and utilization has been developed to create a platform in universities. According to YMESS, the inventory process consists of the phases of classifying, coding, numbering, and measuring spaces. The measurement phase takes the form of metric and indoor quality measurements. In this study, indoor quality measurements were conducted in a number and variety of spaces that could represent the faculties, colleges, vocational schools, social and cultural facilities built in different periods of Trakya University. Measurements were taken in four categories, namely lighting, humidity and temperature, CO<sub>2</sub> and noise, in numbers representative of all buildings. The data obtained from the measurements, in which the indoor environmental conditions were determined based on the minimum number of samples, were analyzed. These studies are important to draw attention to the evaluation of space utilization and indoor environmental conditions in higher education facilities, to create an inventory and to increase efficiency.*

*Keywords: YMESS, thermal comfort, indoor air quality, visual comfort, acoustic comfort*

<sup>1</sup> e-posta adresi: filizu@trakya.edu.tr.

<sup>2</sup> e-posta adresi: emihlayanlar@trakya.edu.tr.

<sup>3</sup> e-posta adresi: semihak@trakya.edu.tr.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde insanlar zamanlarının %90'ını kentlerde, yapılardan ve iç mekân donanımlarından oluşan yapay çevrede geçirmektedir. Kullanıcıların yaşamlarını sağlıklı ve konforlu bir şekilde sürdürebilmeleri iç ortam kalitesine bağlıdır. Bu bağlamda eğitim yapılarındaki konfor durumu da öncelikli öneme sahip olup iç mekân fiziki koşulların iyileştirilmesi eğitim ve öğretimdeki verimliliğin artırılmasını sağlamaktadır [1]. Çalışma ortamının konfor şartları, insanların bedensel ve zihinsel üretim hızını etkilemektedir. Konforlu bir ortamda algı, kavrayış, dikkat, verim ve performans değerinin arttığı bilinmektedir [2]. Tüm yapılarda olduğu gibi eğitim yapılarının tasarımında ve planlamasında yapının konumu ve dış çevre koşulları (güneşlenme, rüzgâr, gürültü vb.), kullanıcı profili ve tercihleri, iç mekânda kullanılan malzemeler iç ortam kalitesini etkilemektedir. Ayrıca ısı konforu, iç hava kalitesi, akustik ve görsel konfor koşulları iç ortam kalitesini belirlemektedir [3].

İnsan vücudu ve çevresi arasındaki fizyolojik, psikolojik ve fiziksel uyumun memnuniyet verici olma durumunu gösteren konforun en önemli parametrelerinden birisi ısı konfordur. Kullanıcıların içinde bulunduğu iklimsel çevreden hoşnut olma durumu olarak bilinen ısı konforu; sıcaklık, bağıl nem, hava akış hızı ve radyan sıcaklık gibi çevresel faktörlerin yanı sıra aktivite durumu ve giyinme durumu gibi kişisel faktörlere de bağlıdır. Isı konforunun yanı sıra iç mekân konforunu etkileyen önemli bir diğer faktör iç ortam hava kalitesidir. Bunu belirleyen en önemli kirletici bileşenlerinden biri ortamdaki CO<sub>2</sub> miktarıdır. Görsel konfor ise mekânda mevcut ışığın hem niteliksel hem de niceliksel anlamda kullanıcıyı rahatsız etmemesi, gerginlik, sinirlilik hallerinin kullanıcıda oluşmaması için ve göz sağlığının korunması gibi faydalı durumları içermektedir [4-5]. Farklı fonksiyonlara hizmet eden ancak içinde işitsel iletişime gereksinim duyulan tüm yapılarda akustik konforun sağlanması büyük önem taşımaktadır. Akustik konfor; iç/dış mekân arasındaki ses geçişine, iç mekândaki ses düzeyine, sesin alıcıya ulaşmasına göre değişiklik gösterir [6]. Eğitim sürecindeki okul yapılarında, ofis, sınıf ve dersliklerin fiziksel konfor koşulları ve özellikle de akustik kalitesi en önemli tasarım parametrelerinden birini oluşturmaktadır. Yapı fiziği açısından gerekli konfor koşullarının sağlanması eğitimin kalitesini, öğrenci ve öğretmenlerin başarısını olumlu yönde etkilemektedir [7]. Bu çalışma kapsamında iç mekân konfor koşulları yükseköğretim yapılarında seçilen örneklem mekânlar üzerinde sıcaklık, bağıl nem, CO<sub>2</sub>, aydınlık ve gürültü düzeyi açısından araştırılmıştır.

## 2. YÜKSEKÖĞRETİM MEKÂN LARI ENVANTER SINIFLANDIRMA SİSTEMİ (YMESS)

Kalkınma Bakanlığı tarafından üniversite mekânlarının rasyonel bir şekilde planlanması amacıyla YMESS altyapı sistemi oluşturulmuştur. YMESS; Süleyman Demirel Üniversitesi'nden farklı alanlarda uzman ekipler tarafından tanımlı standartlar esas alınarak mekânların fonksiyon bazlı envanterinin çıkarılması amacıyla hazırlanmış bir kılavuzdur. Süleyman Demirel Üniversitesi'nin mekânları YMESS'i geliştirme çalışmalarında uygulama alanı olarak kullanılarak çalışma 2 yılda tamamlanmıştır [8]. Bu pilot uygulama sonrasında kılavuz tüm üniversiteler tarafından uygulanmak üzere zorunlu hale getirilmiştir. Kılavuzun oluşturulmasında, üniversite mekânlarının envanteri ve bu envanterin çıkarılmasında kullanılacak sınıflandırma sistemleri konusunda takip edilecek metodolojide Amerika Birleşik Devletleri (ABD), İngiltere ve Avustralya ülkelerinin yapmış olduğu çalışmalardan yararlanılmıştır. İngiltere Yükseköğretim Fon Konseyi tarafından

desteklenen ve “Space Management Group (Mekan Yönetim Grubu)” [9] olarak adlandırılan özel sektör ve üniversite işbirliğinde gerçekleştirilen çalışmalar, “Avusturalya Yükseköğretim Tesisleri Yönetim Derneği (TEFMA)” [10] tarafından yapılan çalışmalar ve ABD Eğitim Bakanlığı Eğitim Bilimleri Enstitüsü Ulusal Eğitim İstatistikleri Merkezi (IES)” [11] tarafından yapılan çalışmalar bu konuda alt yapı oluşturmuştur.

Metodoloji hazırlığında en kapsamlı sınıflandırma sistemine sahip olması açısından ABD Eğitim Bakanlığı Eğitim Bilimleri Enstitüsü Ulusal Eğitim İstatistikleri Merkezi tarafından geliştirilmiş “Lise Sonrası Eğitim Tesisleri Envanter ve Sınıflandırma Kılavuzu (FICM)” çalışmasının son edisyonu olan 2006 yılı baskısının, metodoloji geliştirme çalışmasında esas alınmasına karar verilmiştir. Bu doğrultuda geliştirilen metodolojinin bilgi toplama süreci tüme varım yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Temel sınıflandırma birimi bina kabul edilmiştir. Binalar toplamından yerleşke toplamına, yerleşke toplamından üniversite toplamına ulaşılmıştır. Envanter bilgisi toplama süreci üç aşamadan meydana gelmektedir;

1. Sınıflandırma ve Kodlama
2. Numaralandırma
3. Ölçüm (a. Metrik Ölçümler, b. İç Mekân Kalitesine İlişkin Ölçümler)

Öncelikle kılavuzda detaylı bir şekilde belirtilen sınıflandırma ve kodlama yöntemine göre Üniversiteye ait her mekân numaralandırılmalıdır. Üçüncü aşamayı ise ölçümler oluşturmaktadır. Belirlenen sayıda mekânda metrik ve iç mekân kalitesine ilişkin ölçümler kılavuzda belirtilen yöntemler kullanılarak uygulanmalıdır [8].

### 3. ALAN ÇALIŞMASI VE ÖLÇÜM YÖNTEMİ

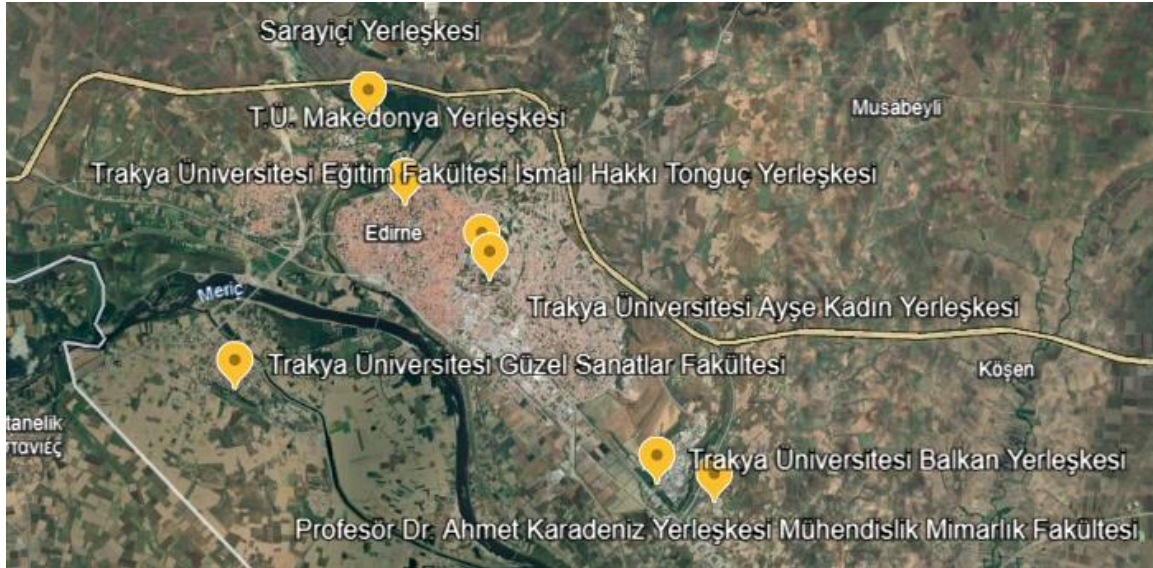
Bu çalışma kapsamında Trakya Üniversitesi envanter bilgi sürecinde iç mekan kalitesi ölçümleri değerlendirilmiştir. Ana fonksiyon olarak eğitim, araştırma, yönetim, sağlık hizmeti, kütüphane, toplantı, konferans ve sosyal alan olarak belirlenmiş olup iç mekân kalitesine ilişkin ölçümler Edirne Merkez İlçede yer alan yerleşkelerde gerçekleştirilmiştir. Yerleşke ölçeğinde YMESS’te belirtilen tümevarım yöntemiyle bütünü temsil edecek sayıda ve çeşitlilikte derslik, amfi, laboratuvar, ofis ve koridorlardan alınmıştır. Tüm ölçümler ısıtma döneminde gerçekleştirilmiştir.

#### 3.1. Trakya Üniversitesi Örneği

Türkiye’nin kuzeybatısında yer alan Trakya Üniversitesi; Marmara Bölgesinde, Yunanistan ve Bulgaristan olmak üzere iki Balkan ülkesine kara sınırı olan Edirne de bulunmaktadır. Trakya Üniversitesi, Trakya Bölgesi’ndeki ilk ve en büyük devlet üniversitesidir. 1982 yılında kurulan Üniversite; 5 Enstitü, 14 Fakülte, 1 Konservatuar, 4 Yüksekokul, 10 Meslek Yüksek Okulu ile eğitim vermeye devam etmektedir. Toplam 34 akademik birim, 38 araştırma merkezinde 43196 öğrenciye 1763 öğretim elemanı, 2935 idari personel ile hizmet vermektedir [12].

Trakya Üniversitesi’nin toplam on dokuz yerleşkesi bulunmaktadır [12]. Bu yerleşkeler Trakya bölgesi içinde farklı şehirlerde dağılım göstermektedir. Trakya Üniversitesi’nin tüm yerleşkelerinin toplam yüzölçümü 5.068.625 m<sup>2</sup> ve yapıların toplam inşaat alanı 493.495 m<sup>2</sup>’dir[13]. Çalışma kapsamında Edirne Kent Merkezinde yer alan yerleşkeler incelenmiş olup bu yerleşkelerdeki toplam inşaat

alanı 435.376 m<sup>2</sup>'dir. **Şekil 3**'de Trakya Üniversitesi merkez ilçesinde bulunan çalışma kapsamında ele alınan yerleşkeler görülmektedir [13].



**Şekil 1:** Edirne Merkezde Bulunan Trakya Üniversitesi Eğitim Yerleşkeleri

### 3.2. İç Mekân Kalitesi Ölçüm Yöntemi

YMESS'de iç mekân ölçümlerinin tüm mekânları temsil edecek sayıda **Çizelge 1**'de belirtilen oranlarda yapılması öngörülmüştür. Her mekân türüne ait örneklem büyüklüğünün en az 30 olması koşulundan dolayı kapalı mekân türünün 30'dan az olduğu birimlerde ilgili mekânların tamamının ölçülmesi gerektiği belirtilmiştir.

**Çizelge 1:** Mekân türüne göre tavsiye edilen örneklem büyüklükleri [8]

Kapalı Mekân Türü (Alt fonksiyon)	Tavsiye edilen örneklem büyüklüğü
Derslik	Üniversitedeki tüm dersliklerin toplam sayısının %5'i
Amfi	Üniversitedeki tüm amfilerin toplam sayısının %50'i
Laboratuvar	Üniversitedeki tüm laboratuvarların toplam sayısının %20'si
Ofisler (Akademik+idari)	Üniversitedeki tüm ofislerin toplam sayısının %1'i
Koridorlar, sirkülasyon	Üniversitedeki tüm koridor ve sirkülasyon alanlarının toplam sayısının %0,5'i

Örneklem yapılırken; mekanların;

- farklı Fakülte/YO/MYO binalarından seçilmesine,
- yapım yöntemlerinin farklı olmasına,
- yapım yıllarının 2008 yılı öncesi ve sonrası yapılmış olmasına,
- farklı havalandırma ve ısıtma sistemlerinin kullanıldığı binalarda bulunmasına,
- farklı kat ve cephelerde bulunmasına,
- farklı kapasite ve kullanım amaçlarına sahip olmalarına dikkat edilmiştir.

Trakya Üniversitesinde YMESS'e göre derslik, amfi, laboratuvar, ofis ve sirkülasyon alanlarının toplam sayısı, temsili ölçüm sayısı ve oranı **Çizelge 2**'de verilmiştir.

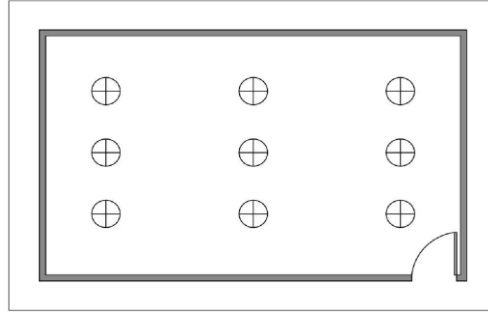
**Çizelge 2:**Trakya Üniversitesi YMESS ile belirlenen toplam mekân sayısı ve ölçülen mekân sayısı

Mekân Fonksiyonu	Derslik	Amfi	Lab	Ofis	Sirkülasyon
Toplam sayı	608	54	320	2315	3880
Ölçüm sayısı	31	30	64	54	30
Ölçüm oranı	%5,1	%55,6	%20	%2,3	%0,8

**Aydınlatma ölçme yöntemi:** Eğitim mekanlarında aydınlık düzeyi çalışma performansını etkileyen önemli parametrelerden biridir. Aydınlık düzeyini ölçmek için öncelikle ölçüm noktalarının sayısı belirlenmiştir. Bu işlem için oda indeksi olarak adlandırılan eşitlik kullanılmıştır [8].

$$\text{Oda indeksi (K)} = \frac{L \times W}{H \times (L + W)}$$

Burada L; iç mekânın derinliğini, W; iç mekânın enini ve H; iç mekânın yüksekliğini ifade etmektedir. Eğer  $K < 1$  ise 4 ölçüm noktası,  $1 \leq K < 2$  ise 9 ölçüm noktası,  $2 \leq K < 3$  ise 16 ölçüm noktası ve  $K \geq 3$  ise 25 ölçüm noktası seçilmelidir. Noktalar seçilirken duvarlar ve gölge düşüren yüzeylerden en az 0,5 m uzaklıkta olmalarına dikkat edilmelidir. Örnek bir seçim **Şekil 2**'de gösterilmiştir.



**Şekil 2:** Örnek bir mekânda aydınlık düzeyi ölçüm noktaları seçimi

**Sıcaklık ve nem seviyesi ölçüm yöntemi:** Eğitim mekânlarındaki sıcaklık ve nem, çalışma performansını etkileyen diğer önemli parametrelerdendir. Bir mekânın sıcaklık ve nem ölçümü mekânların kullanımı sırasında yerden yaklaşık 1,2 m yüksekliğinde ve oturma pozisyonunda gerçekleştirilmiştir. Ofis, koridorlar ve diğer mekânlarda ayrı ayrı gün boyunca farklı zaman dilimlerinde (örneğin saat 09.00, 11.00, 14.00 ve 16.00'da) olacak şekilde en az dört ölçüm alınarak ortalamaları kaydedilmiştir. Dersliklerde ise ders boyunca gerçek zamanlı ölçümler (her 2 dakikada bir) alınarak ortalamaları kaydedilmiştir [8].

**Karbondiyoksit seviyesi ölçüm yöntemi:** İç hava kalitesini kontrol etmek için önemli bir iç hava kirleticisi olan karbondiyoksit (CO<sub>2</sub>) seviyesi havalandırma yapılmazsa kullanıcı sayısı arttıkça solunuma bağlı olarak artmaktadır. Karbondiyoksit seviyesi ölçümünde (CO<sub>2</sub>) ölçme sensörü sıcaklık ve nem probu ile birlikte ve aynı koşullarda kullanılmıştır [8].



Gürültü seviyesi ölçüm yöntemi: Gürültü ölçümünde mekân boş olarak en az 5 dakikalık, yüzeylerden (Duvar, dolap vb.) en az 0,5-1 m uzaklıkta ve yerden yaklaşık 0,91±0,05m yükseklikte ölçümler yapılmıştır. Pencere ya da hava alma boşluklarından en az 1-1,5 m uzaklıkta yapılan ölçümler belirlenen alanda eşit olarak dağılmış en az 3 ölçüm noktası, noktalar arasındaki fark 5 dB’i geçtiği takdirde ölçüm sayısı 5’e çıkarılmıştır. Kaydedilen ölçümlerin ortalaması alınmıştır[8].

Ölçümler **Şekil 3**’de yer alan cihazlar ile gerçekleştirilmiştir. Bu parametrelerin konforlu bölgeyi temsil eden sınır değerleri ilgili standartlar ile birlikte **Çizelge 3**’de verilmiştir.



Testo-480 Isıl konfor ve CO<sub>2</sub> ölçüm cihazı    Testo-816-1 Gürültü ölçüm cihazı    Aydınlık düzeyi ölçüm cihazı

**Şekil 3:** İç mekân kalitesi ölçüm cihazları

**Çizelge 3:** İç mekân kalitesi sınır değerleri

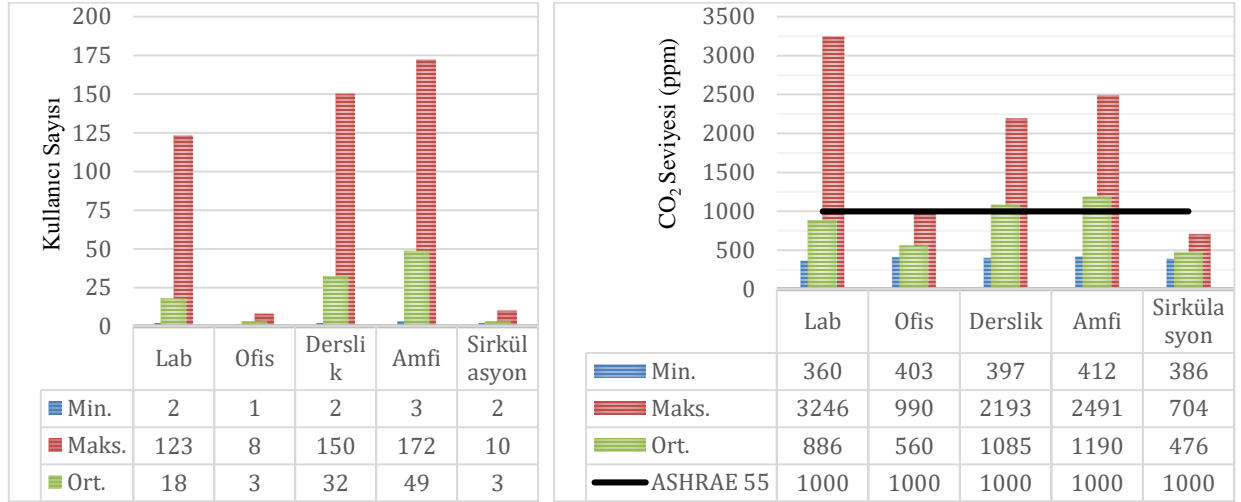
	Kış Konfor Aralığı	Yaz Konfor Aralığı
Sıcaklık (ASHRAE Standart 55) [14]	20°C ile 23,6 °C arası	22,8 °C ile 26,1 °C arası
Bağıl Nem (ASHRAE Standart 55) [14]	%30-65 arası	%20-60 arası
CO <sub>2</sub> (ASHRAE Standart 55) [14]	1000 ppm	
Aydınlatma (TS EN 12464-1) [16]	300- 500 Lux (ofisler) ve derslikler) 100 Lux (sirkülasyon)	
Gürültü (Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik, 2017) [15]- Derslikler	A:31 B:35 D:43	(Gündüz-Akşam)dB <b>C:39</b> E:47 F: 51

#### 4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

YMESS kapsamında yapılan iç mekân konfor ölçümleri sonucunda elde edilen veriler her mekân özelinde (yön/şeffaf yüzey alanı/hacim/bina kabuk bileşenleri vb değişkenler) değerlendirilerek raporlanmıştır. Ancak çalışma kapsamında tümünden gelim yaklaşımı ile YMESS’e göre genel bir bakış açısı sunulmuştur. Bu amaçla sınırlandırılan çalışma kapsamında ölçüm alınan mekân türlerine göre bir sınıflandırma yapılmış olup her mekân türünde alınan ölçümlerin ortalama/minimum ve maksimum değerleri üzerinden yorumlanmıştır.

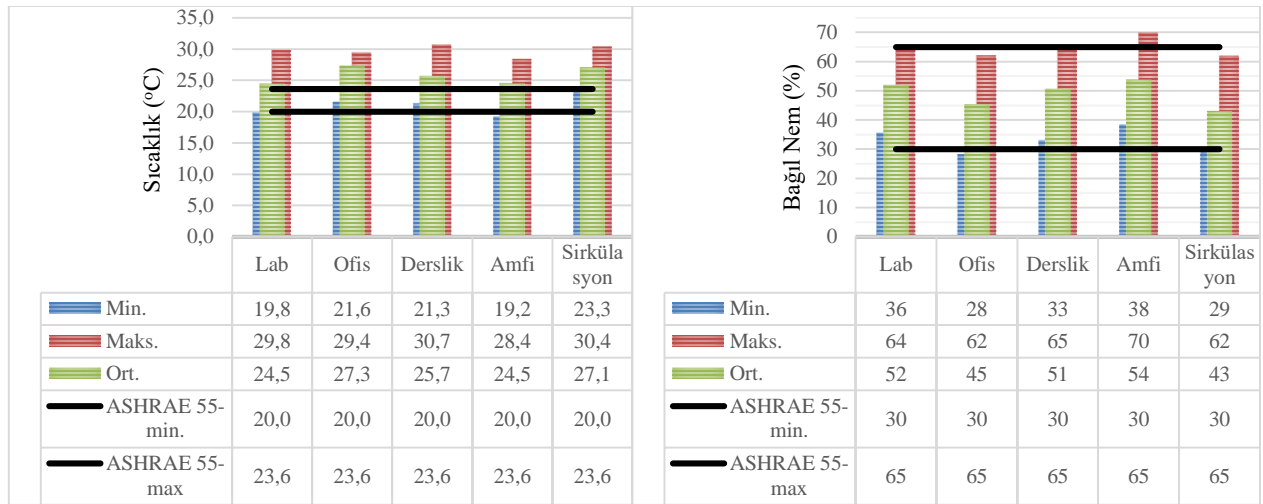
Isıl konfor ve iç hava kalitesi ölçümleri mekânların kullanımı sırasında yapılmış olup minimum maksimum ve ortalama kullanıcı sayıları **Şekil 4**’de verilmiştir. Görüldüğü üzere kullanıcı sayıları

en yüksek olan mekânlar amfiler olup en düşük kullanıcı sayısı ofislerde. İç hava kalitesi açısından önemli bir parametre olan kullanıcı sayısına bağlı olarak CO<sub>2</sub> miktarındaki artışın da amfilerde olduğu görülmektedir. Aynı zamanda ortalama CO<sub>2</sub> miktarının amfi ve dersliklerde sınır değeri aştığı, diğer mekânlarda ise bazı ölçümlerde sınır değeri aşılmasına rağmen çoğunlukla sınır değerin altında kaldığı tespit edilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4: Ölçüm alınan mekânlarda kullanıcı sayısı ve CO<sub>2</sub> seviyesi

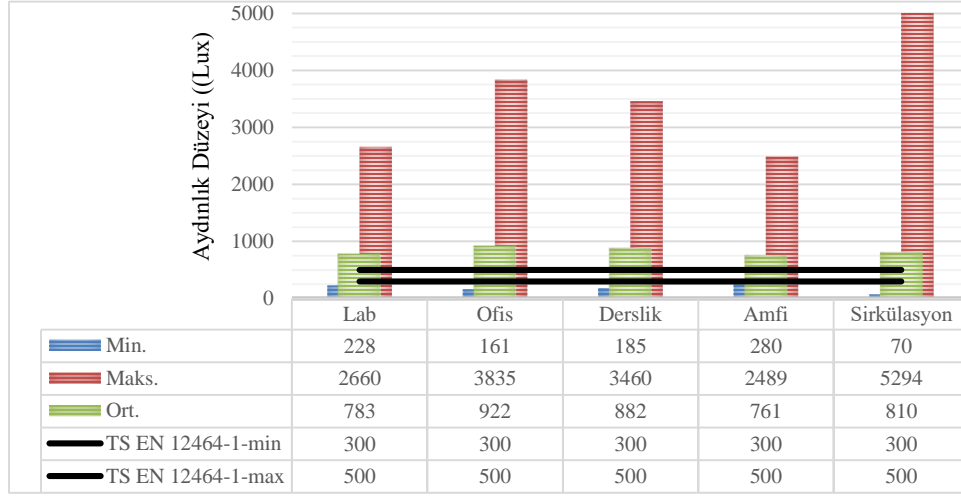
Sıcaklık ölçümlerinin tüm mekân türlerinde konfor aralığında olduğu, minimum sıcaklık değerlerinin bile sınır değerleri sağlayacak seviyede olduğu tespit edilmiştir. Bağıl nem ölçümlerinin de sıcaklık ölçümleriyle benzer şekilde tüm mekân türleri için konfor koşullarını sağlayacak seviyede olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5: Ölçüm alınan mekânlarda sıcaklık ve bağıl nem değerleri

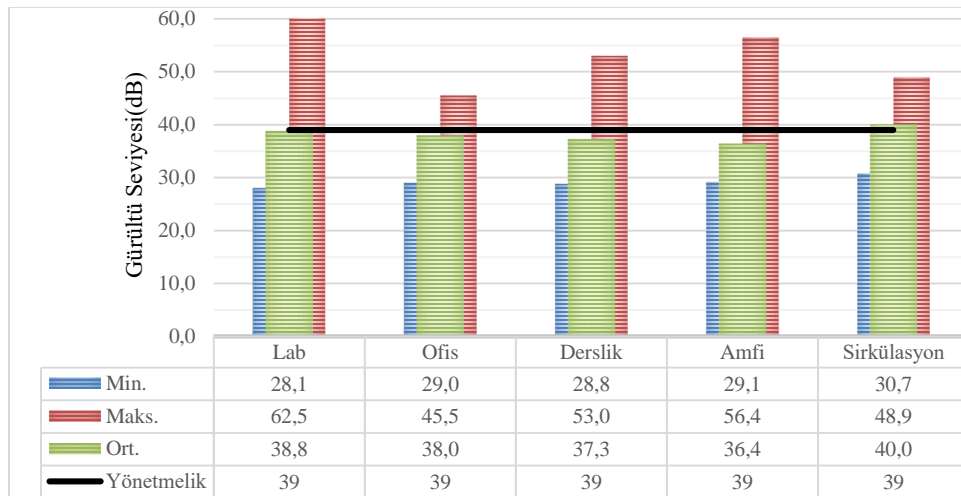
Aydınlık düzeyleri açısından bakıldığında genellikle mekânların TS EN 12464-1' de verilen sirkülasyon alanlarındaki 100 Lux değerini ortalama ve maksimumda geçmekte minimum değerde ise 70 Lux le yaklaşmaktadır. Ofisler ve dersliklerde ise ölçülen minimum değerler sınır değerlerin (300- 500 Lux) altında iken ortalama ve maksimum değerler sınır değerlerin çok üstüne

çıkılmaktadır (Şekil 6). Bu durum temsili mekânlarda yetersiz aydınlık düzeyi ile ilgili önemli bir problem olmadığını ancak çok yüksek aydınlık düzeyleri ile görsel konfor açısından parlama, kamaşma vb. problemler ile karşı karşıya kalılabileceğini göstermektedir. En yüksek aydınlık düzeyleri Edebiyat Fakültesi, Fen Fakültesi Matematik-Biyoloji Binası, İlahiyat Fakültesi sirkülasyon alanları, Sağlık Bilimleri Fakültesi binalarında izlenmiştir.



Şekil 6: Ölçüm alınan mekânlarda aydınlık düzeyleri

Gürültü düzeyleri açısından bakıldığında mekânların “Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik” te Akustik performans sınıfına bağlı izin verilen mekân içi en yüksek gürültü düzeyleri değerlerinde eğitim yapıları, derslikler için: A sınıfı: 31 dB, B sınıfı: 35 dB, C sınıfı: 39 dB, D sınıfı: 43 dB, E sınıfı: 47, F sınıfı: 51’dir [15]. Yönetmelikte binalara A-F’ye arasındaki akustik performans sınıflandırmasında; A sınıfı gürültüye karşı yüksek koruma ile sağlanan sessiz bir ortamı, F sınıfı ise gürültüye karşı korumasız bir ortamı temsil etmektedir. Yönetmeliğe göre yeni inşa edilecek ya da tadilat yapılacak okul binalarının en az C sınıfı akustik performansı sağlaması zorunludur [17]. Ölçülen değerlere göre minimum değerler A sınıfını, ortalama değerler C sınıfını maksimum değerlerde ise F sınıfının aşıldığı görülmektedir (Şekil 7).



Şekil 7: Ölçüm alınan mekânlarda gürültü seviyeleri

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında Trakya Üniversitesi mekânlarında yapılan iç mekân kalitesi ölçümlerinin mekân türü esas alınarak genel bir değerlendirilmesi yapılmıştır. Ofisler, derslikler, amfiler, atölyeler ve sirkülasyon alanları olarak sınırlandırılan çalışmada ölçümlerden elde edilen sonuçların minimum, maksimum ve ortalama değerleri alınarak yorumlanmıştır.

Isıl konfor açısından sıcaklık ve bağıl nem değerlerine bakıldığında ısıtma sezonu olmasına rağmen binaların tamamında uygun aralıkta olduğu görülmektedir. Hatta bazı binalarda sınır değerlerin üzerinde sıcaklıklar kaydedilmiştir. Aydınlık düzeyleri açısından yapılan değerlendirmelere de bakıldığında sınır değerlerin çok üzerinde aydınlık düzeyleri tespit edilmiştir. Bu durum bina kabuğunda şeffaf yüzey alanlarından kazanılan ısı enerjisinin de iç ortam sıcaklıklarının yükselmesinde olan etkisini göstermektedir. Ancak görsel konfor açısından bu durum olumsuzluk yaratmaktadır.

İç hava kalitesi açısından özellikle kullanıcı sayısına bağlı olarak CO<sub>2</sub> ölçümlerinde en yüksek değerler; İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Eğitim Fakültesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi derslik, amfi ve laboratuvarlarında, Mühendislik Fakültesi laboratuvarlarında izlenmiştir. Güzel Sanatlar Fakültesinin yer aldığı Karaağaç yerleşkesi ve Mimarlık Fakültesinin yer aldığı Makedonya yerleşkesinde CO<sub>2</sub> düzeyleri en düşük seviyelerdedir. Bu binaların tarihi bina olması ve kat yüksekliklerinin fazla olması nedeniyle kişi başına düşen hacmin fazlalığı iç hava kalitesi açısından olumlu olmuştur.

Akustik konfor koşullarında ise elde edilen değerlere göre minimum değerler A sınıfını, ortalama değerler C sınıfı maksimum değerler de ise F sınıfının aşıldığı görülmektedir. Yapılardaki iç ve dış çevre fiziksel şartlar, arka plan fon gürültüsü, reverberasyon süresi, yapı elemanlarının ve malzemelerinin akustik özellikleri dikkate alınarak bu değerlerin düşürülmesi sağlanabilir. Gürültü değerleri yüksek olan ölçümlere bakıldığında; Konservatuar, Sağlık Bilimleri Fakültesi'nin derslik ve laboratuvarları, Tıp Fakültesi derslik binası, Temel Tıp Bilimleri binası sirkülasyon alanları, İlahiyat Fakültesi derslik ve amfileri olarak kaydedilmiştir. Bu binaların tamamı Balkan Yerleşkesinde ve trafik yoğunluğu en yüksek konumda olan binalardır.

Eğitim binalarında kullanıcı sayısının fazlalığı, yetersiz havalandırma koşulları, hacim boyutlarının yetersizliği, bina kabuğundaki bileşenlerin doğru seçilmemesi ve uygulama hataları ortam kalitesinin düşmesiyle birlikte kullanıcı sağlığının bozulmasına ve performans düşüklüğüne neden olmaktadır. Bunun yanı sıra binaların bulunduğu çevre de (trafik vb faaliyetlere bağlı olarak) iç mekân konforu üzerinde etkilidir.

İlk etapta alınan bu ölçümler binaların büyük çoğunluğundaki geneli temsil etmesi ve envanter oluşturulması açısından önemlidir. Kapsamı sınırlı tutulan ve mekân türü açısından değerlendirme yapılan bu çalışmanın ileriki aşamalarında binalar özelinde yapılacak değerlendirmelerle planlama programlama aşamalarında bu doğrultuda gerekli önlemlerin alınmasına katkı sağlayacaktır.

## TEŞEKKÜR

Katkılarından dolayı “Trakya Üniversitesi MEK-SİS Çalışma Grubu” na teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

1. H.W. Brink, W.P. Krijnen, M.G.L.C. Loomans, M.P. Mobach, H.S.M. Kort, “Positive effects of indoor environmental conditions on students and their performance in higher education classrooms: A between-groups experiment”, *Science of The Total Environment*, Volume 869, (15 April 2023), 161813
2. E Mihlayanlar, S Kartal, ŞY Erten, Yükseköğretim yapılarında ısı konfor şartlarının araştırılması: Mimarlık Fakültesi örneği, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, (2017) Volume 21, 3, s: 917-927.
3. Kim, J. and de Dear, R. “How does occupant perception on specific IEQ factors affect overall satisfaction?”, Proceedings of 7th Windsor Conference: The changing context of comfort in an unpredictable world Cumberland Lodge, Windsor, UK, (12-15 April 2012), London, Network for Comfort and Energy Use in Buildings.
4. F.Y. Şener, A.K.Yener, Aydınlatma tasarımında görsel konfor, enerji performansı ve çevresel etki değerlendirmesi. 7.Ulusal Aydınlatma Sempozyumu’nda sunulan bildiri, İzmir (2013 Kasım). Erişim adresi: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.b2bmedya.com/ekitap/pdf/3uncu-ulusal-yapi-fizigi-ve-cevre-kontrolu-kongresi-bildiriler-kitabi-2018.
5. W. Benka-Coker, B.Young, S. Oliver, J. W. Schaeffer, D. Manning, J. Suter, J. Cross, S. Magzamen, “Sociodemographic variations in the association between indoor environmental quality in school buildings and student performance”, *Building and Environment* 206 (2021) 108390
6. D.H. Bilmez, K. Çelik, C. Diri & Ü. Arpacıoğlu, “Evaluation of architectural workshops in terms of acoustic comfort conditions: YADYO workshop example of Çukurova University Department of Architecture”. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, (2022). 7 (2), 852-870.  
DOI: <https://doi.org/10.30785/mbud.1153583>
7. Ö. Yılmaz Karaman, N. Berber Üçkaya, Eğitim mekânlarında akustik konfor: Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Örneği. *MEGARON* (2015);10(4):503-521, DOI: 10.5505/MEGARON.2015.58076.
8. M. Yavuz, “Yükseköğretim Mekânları Envanter Sınıflandırma Sistemi (YMESS) Kılavuzu”, *Kalkınma Bakanlığı & Süleyman Demirel Üniversitesi*, Ankara, 2018
9. Space Management Group tarafından “UK Higher Education Space Management Project”, <http://www.smg.ac.uk/reports.html> adresinden ulaşılabilir.
10. TEFMA (Tertiary Education Facilities Management Association), [www.tefma.com](http://www.tefma.com)
11. FICM (Facilities Inventory and Classification Manual), <https://nces.ed.gov/pubs2006/ficm/index.asp>
12. <https://www.trakya.edu.tr/> (Son erişim tarihi; Nisan, 2024)
13. T. Darendelioğlu, “Üniversite kampüslerinin sürdürülebilirlik özelliklerinin incelenmesi: Trakya Üniversitesi Balkan Yerleşkesi Örneği”, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim dalı, Yüksek Lisans Tezi, (2020).
14. ASHRAE Standart 55, Thermal Environmental Conditions For Human Occupancy, 2023.
15. Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2017).
16. TS EN 12464-1, “Işık ve aydınlatma - Çalışma yerlerinin aydınlatılması - Bölüm 1: Kapalı çalışma alanları”. (2021)
17. M. Bulunuz, S.C Akyün, 2019, “Bursa’da bir devlet okulundaki gürültü düzeyi ve akustik ortamın değerlendirilmesi”, *Milli Eğitim*, Cilt: 48, Özel Sayı/2019, Sayı: 1, (535-552).

## **BİR ARAŞTIRMA MERKEZ BİNASININ “BİNALARIN YANGINDAN KORUNMASI HAKKINDAKİ YÖNETMELİK” BAĞLAMINDA İNCELENMESİ VE UYGUNLUK ANALİZİ**

Ebru Melis Özdemir<sup>1</sup>

Ayhan Türker<sup>2</sup>

Füsun Demirel<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Amasya Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Şeyhcu Mah. Boğaçhan Sokak, Amasya, 05100

<sup>2,3</sup> Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Eti, Yükseliş Sk, Çankaya, Ankara, 06570

### **ÖZET**

*Yangın; bireyler ve binalar için önemli bir tehlike kaynağı olmakla beraber alınabilecek önlemlerle yol açabileceği zararların önüne geçilebilmektedir. Bu önlemler göz önünde bulundurulduğunda öncelik, binaların tasarım aşamasına yön verecek pasif yangın güvenlik önlemlerine olan uygunluktur. Bu bağlamda çalışmanın amacı; mimari proje aşamasında pasif yangın güvenlik önlemlerine ilişkin alınan kararların, örneklem olarak seçilen binada ulusal yangın yönetmeliğine uygunluğunun belirlenmesidir. Bu amaçla çalışmada; ülkemizde Tarım ve Orman Bakanlığına bağlı, Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Hububat Referans Materyal Merkez Binası, “Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik (BYKHY)” maddelerine göre incelenmiş ve yönetmelik hükümlerini ne oranda karşıladığı araştırılmıştır. Bu doğrultuda binanın tasarım aşamasında kararlaştırılan araziye yerleşim kararları, yapı malzeme ve elemanlarının seçimi, kaçış yollarının ve yatay tahliye alanlarının planlanması gibi pasif yangın güvenlik önlemlerine ilişkin yönetmeliğin ilgili maddeleri dikkate alınarak kontrol tabloları oluşturulmuş ve örneklem olarak seçilen binanın uygunluğu incelenmiştir. Çalışma sonucunda ise seçilen araştırma merkez binasının, BYKHY ilgili hükümlerinin büyük çoğunluğunu yerine getirdiği görülmüş, yerine getirilmeyen hükümler için ise öneriler getirilmiştir.*

*Anahtar sözcükler: Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik (BYKHY), Araştırma Merkezi, Pasif Yangın Güvenlik Önlemleri*

### **ABSTRACT**

*Fire; Although it is a significant source of danger for individuals and buildings, the damage it may cause can be prevented by taking precautions. Considering these measures, the priority is compliance with passive fire safety measures that will guide the design phase of buildings. In this context, the aim of the study is; It is to determine the compliance of the decisions taken regarding passive fire safety measures at the architectural project stage with the national fire regulations in the building selected as a sample. For this purpose, in the study; The Cereal Reference Material Center Building of the Directorate of Field Crops Central Research Institute, affiliated with the Ministry of Agriculture and Forestry in our country, was examined according to the articles of the "Regulation on Fire Protection of Buildings (BYKHY)" and it was investigated to what extent it met the provisions of the regulation. In this regard, control tables were created by taking into account the relevant articles of the regulation regarding passive fire safety measures such as land settlement decisions decided at the design stage of the building, selection of building materials and elements, planning of escape routes and horizontal evacuation areas, and the suitability of the building selected as a sample was examined. As a result of the study, it was seen that the selected research center building fulfilled the majority of the relevant provisions of BYKHY, and suggestions were developed for the provisions that were not fulfilled.*

*Key words: Regulation on Fire Protection of Buildings, Research institute, Passive fire safety measures*

<sup>1</sup> e-posta adresi: ebru.ozdemir@amasya.edu.tr

<sup>2</sup> e-posta adresi: ayhan@turkermimarlik.com

<sup>3</sup> e-posta adresi: fusund@gazi.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Yangın, binalarda çeşitli nedenlerle ortaya çıkan can ve mal güvenliğini tehdit eden büyük riskler arasındadır. Bu riskin ortaya çıkmasını tamamen önlemek mümkün olmamakla birlikte, alınacak gerekli tedbirlerle neden olacağı zararların önüne geçmek mümkün olabilir. Bina yangınlarında, bu zararların önüne geçmek ancak yangın güvenliğini tasarımlarla gerçekleştirilebilir. Bu nedenle yeni yapılacak binalarda proje aşamasında, mevcut binalarda ise tadilat ve revizyonlarla bina, ulusal yangın yönetmeliğimiz olan “Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik” (BYKHY) maddelerine uygun hale getirilmelidir.

Binalarda yangın güvenliği, farklı disiplinlerin bir arada alacağı tasarım kararları ve gerekli önlemlerle oluşturulmaktadır. Binalarda alınacak yangın güvenlik önlemleri aktif ve pasif önlemler olmak üzere iki şekilde ele alınmaktadır [1]. Pasif güvenlik önlemleri; binanın tasarım sürecinde belirlenen ve uygulanan kararları içerir. Binanın araziye yerleşimi, bina çevresindeki düzenlemeler, yapı malzeme ve taşıyıcı sistem elemanlarının seçimi, kaçış yollarının ve yatay tahliye alanlarının planlanması gibi kriterler bu önlemlerin temelini oluşturmaktadır. Aktif yangın güvenlik önlemleri; pasif güvenlik önlemlerine katkı sağlamak amacıyla, binanın inşası sırasında veya sonradan eklenen önlemlerdir. Binalarda yangına karşı alınacak aktif güvenlik önlemleri, genellikle yangının başlangıç anında tespit edilerek yayılmasını önlemeyi, insanların güvenli tahliyesini sağlamayı ve yangını kontrol altına almaya yöneliktir. Bu önlemler, yangının kontrol altına alınmasını kolaylaştıran ve sakinlerin güvenli bir şekilde tahliyesini sağlayan bir dizi mekanik sistemi kapsamaktadır [2]. Isı ve dumanı algılayan dedektörler, bunlardan aldığı sinyallerle acil durum uyarısı veren alarmların kullanıldığı yangın algılama ve uyarı sistemleri; dumanı ve yangını kontrol altında tutmaya yarayan yangın engelleme ve söndürme sistemleri aktif güvenlik önlemlerine örnek olarak gösterilebilir [3].

Bu bağlamda çalışmada; Tarım ve Orman Bakanlığına bağlı, Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Hububat Referans Materyal Merkez Binası, ulusal yangın yönetmeliğimiz olan “Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik” in ilgili maddeleri kapsamında yangın güvenliği açısından araştırılmıştır. Bu bağlamda incelemelerde mimari proje aşamasında belirlenen ve binanın tasarım aşamasına yön veren araziye yerleşim kararları, yapı malzeme ve elemanlarının seçimi, kaçış yollarının ve yatay tahliye alanlarının planlanması gibi pasif yangın güvenlik önlemleri değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda ilgili maddeler gereğince kontrol tabloları oluşturularak, binanın yönetmelik hükümlerini ne oranda karşıladığı incelenmiştir (**Çizelge 1**). Binayla ilgili olmayan hükümler kontrol tablolarına eklenmemiştir. Tüm katlar çerçevesinde binanın kullanıcı yükü tespitinde; en yoğun kat olan zemin kat esas alınmış olup, kaçış yollarına dair hesaplamalar bu kat gereklerine göre yapılmıştır.

## 2. ARAŞTIRMA MERKEZ BİNASININ “BİNALARIN YANGINDAN KORUNMASI HAKKINDAKİ YÖNETMELİK” MADDELERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ

Örneklem olarak seçilen Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Hububat Referans Materyal Merkez Binası; Tarım ve Orman Bakanlığına bağlı Türkiye Tohum Gen Bankası, Bitkisel Üretim ve Bitki Sağlığı Şube Müdürlüğü, Zirai Mücadele Merkez Araştırma Enstitüsü, Biyoteknoloji Araştırma Merkezi, Uluslararası Tarımsal Eğitim Merkezi, UTEM Misafirhanesi ve lojmanların bulunduğu yerleşke içinde yer almakta olup; 144.86 m<sup>2</sup> alan üzerine kurulmuştur (**Şekil 1**).



**Şekil 1.** Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Hububat Referans Materyal Merkez Binası

Araştırma binası bodrum, zemin, iki kat ve çatı katı olmak üzere beş katlı bir bina olarak tasarlanmıştır. Binanın bodrum katında sığınak, kazan dairesi, soğuk hava depoları, numune depolama odaları, değirmen odaları yer almaktadır. Bu katta ışık sorununun önüne geçebilmek için iç bahçe tasarlanmıştır. Binanın girişinin yer aldığı zemin katı, plan düzleminde iki ayrı kütle olarak kurgulanmış olup; bir bölümünde seminer salonu, açık müze olarak kullanılan giriş holü, diğer bölümünde ofis ve laboratuvar kütleleri bulunmaktadır. Üst katlarda ofisler, laboratuvarlar, müdür odası ve toplantı odaları yer almaktadır. Çatı katında kafeterya ve teras çatı bulunmaktadır. Bina girişinde atrium, devamında ortak sirkülasyon merdiveni ve asansörü bulunmaktadır. Plan ölçeğinde iki adet korunumlu yangın merdiveni tasarlanmıştır. Ayrıca bodrum kattan zemin kata geçiş sağlayan bir adet dış merdiven yer almaktadır (**Şekil 2**). Bina yüksekliği 17,80 metre, yapı yüksekliği ise 22,95 metredir.

**Çizelge 1.** Merkez binasının BYKHY maddelerine uygunluk tablosu [4]

TARLA BİTKİLERİ MERKEZ ARAŞTIRMA ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ HUBUBAT REFERANS MATERYAL MERKEZ BİNASININ BYKHY KAPSAMINDA İNCELENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ					
Sıra No	BYKHY Kısım/Bölüm No	BYKHY Madde No	BYKHY Madde Adı	İncelenen Binanın Durumu	Açıklama
1	2/1	Madde 22	Binaya ulaşım yolları	<b>Uygun</b>	İtfaiye araçlarının yaklaşabildiği son noktadan binanın dış cephesindeki herhangi bir noktaya olan yatay uzaklık en çok 45 m olabilir.
2	3/1	Madde 30	Kaçış Güvenliği Esasları	<b>Uygun</b>	Her çıkışın açıkça görünecek şekilde yapılması, ayrıca, çıkışa götüren yolun, sağlıklı her kullanıcının herhangi bir noktadan kaçacağı doğrultuyu kolayca anlayabileceği biçimde görünür olması gerekir.
3	3/2	Madde 31	Kaçış yolları	<b>Uygun</b>	Kaçış yolları, bir yapının herhangi bir noktasından yer seviyesindeki caddeye kadar olan devamlı ve engellenmemiş yolun tamamıdır.

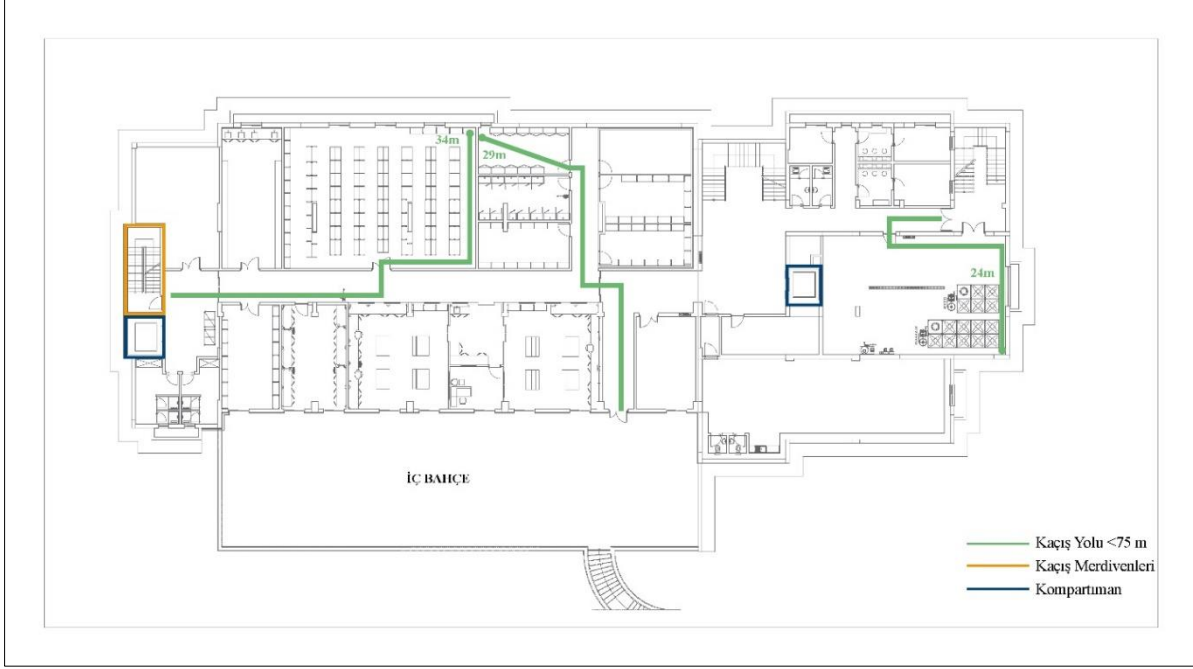


Çizelge 1 (devamı). Merkez binasının BYKHY maddelerine uygunluk tablosu [4]

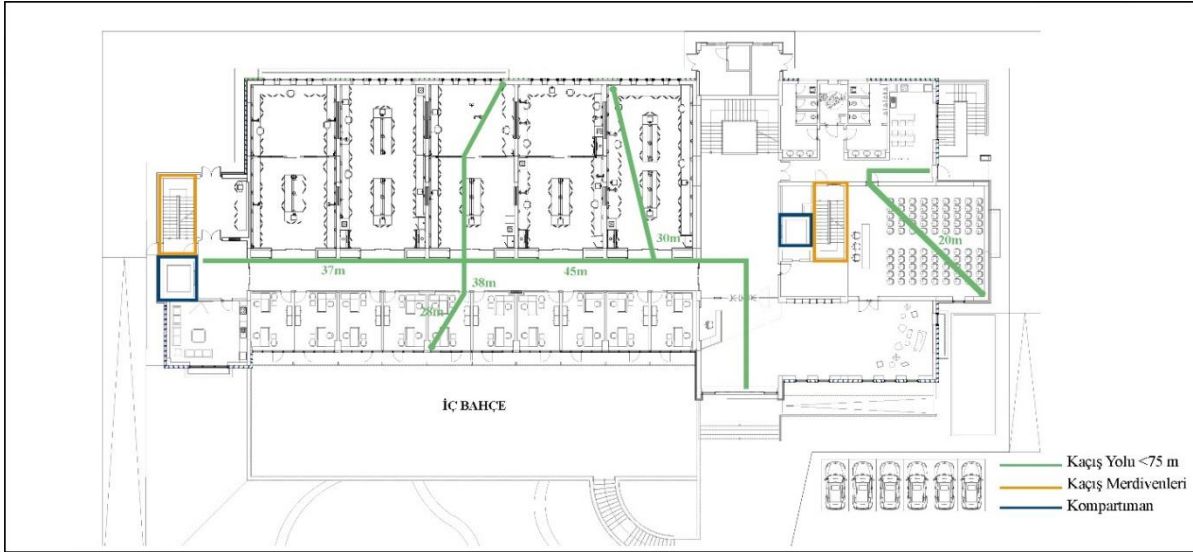
TARLA BİTKİLERİ MERKEZ ARAŞTIRMA ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ HUBUBAT REFERANS MATERYAL MERKEZ BİNASININ BYKHY KAPSAMINDA İNCELENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ					
Sıra No	BYKHY Kısım/Bölüm No	BYKHY Madde No	BYKHY Madde Adı	İncelenen Binanın Durumu	Açıklama
4	3/2	Madde 32	Çıkış Kapasitesi ve Kaçış Uzaklığı	Uygun	Hesaplamalar Ek-5A'ya göre yapılmıştır. Ek 5B' de yer alan yağmurlama sistemi bulunan büro binaları için; tek yönlü kaçış mesafesi 30 m'yi, iki yönlü kaçış uzaklığı ise 75 m'yi aşmamaktadır.
5	3/2	Madde 33	Kaçış Yolu Sayısı ve Genişliği	Uygun	Ek-5A ve Ek-5B'ye göre yapılmıştır.
6	3/2	Madde 34	Yangın Güvenlik Holü	Uygun değil	Yangın güvenlik hollerinin duvar, tavan ve tabanında hiçbir yanıcı malzeme kullanılmamalı ve bu hollerin, yangına en az 120 dakika dayanıklı duvar ve en az 90 dakika dayanıklı duman sızdırmaz kapı ile diğer bölümlerden ayrılmalıdır. Yangın güvenlik hollerinin taban alanı, 3 m <sup>2</sup> 'den az, 6 m <sup>2</sup> 'den fazla ve kaçış yönündeki boyutu ise 1.8 m'den az olmamalıdır. Tasarım bu hükümlere uygun olarak düzeltilmelidir.
7	3/2	Madde 35	Kaçış Yolları Gereklere	Uygun	Yapının kullanımda olduğu sürece zorunlu çıkışların kolayca erişilebilir, kapıların açılabilir durumda olması ve önlerinde engelleyicilerin bulunmaması gerekir.
8	3/3	Madde 38	Kaçış Merdivenleri	Uygun	Kaçış merdivenlerinin duvar, tavan ve tabanında hiçbir yanıcı malzeme kullanılmaz ve bu merdivenler, yangına en az 120 dakika dayanıklı duvar ve en az 90 dakika dayanıklı duman sızdırmaz kapı ile diğer bölümlerden ayrılır.
9	3/3	Madde 39	Acil Çıkış Zorunluluğu	Uygun	Bütün yapılarda, aksi belirtilmedikçe, en az 2 çıkış tesis edilmesi ve çıkışların korunmuş olması gerekir.
10	3/3	Madde 40	Kaçış Merdiveni Yuvalarının Yeri ve Düzenlenmesi	Uygun	Yangın hangi noktada çıkarsa çıksın, o kotta bütün insanların çıkışlarının sağlanması için kaçış yollarının ve kaçış merdivenlerinin birbirlerinin alternatifi olacak şekilde konumlandırılması gerekir.
11	3/3	Madde 41	Kaçış Merdiveni Özellikleri	Uygun	Kaçış merdivenlerinin kapasite ve sayı bakımından en az yarısının doğrudan bina dışına açılması gerekir. Merdivenlerde baş kurtarma yüksekliğinin, basamak üzerinden en az 210 cm ve sahanlıklar arası kot farkının en çok 300 cm olması gerekir. Sahanlığın en az genişliği ve uzunluğu, merdivenin genişliğinden az olamaz. Herhangi bir kaçış merdiveninde basamak yüksekliği 175 mm'den çok ve basamak genişliği 250 mm'den az olamaz.

**Çizelge 1 (devamı).** Merkez binasının BYKHY maddelerine uygunluk tablosu [4]

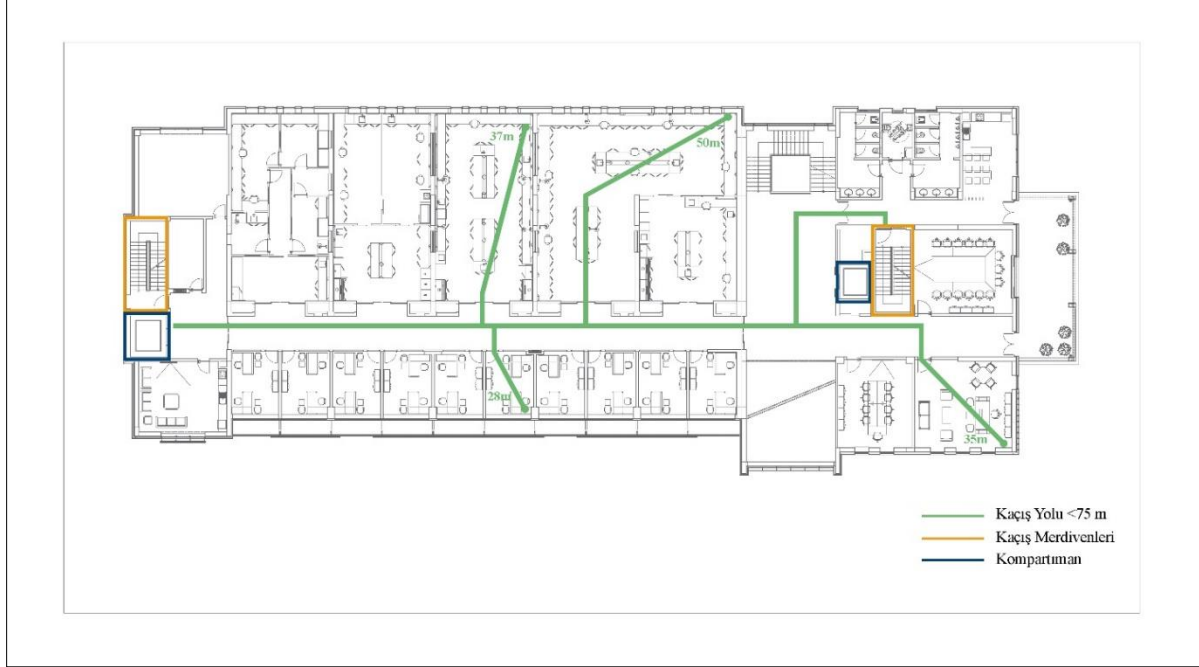
TARLA BİTKİLERİ MERKEZ ARAŞTIRMA ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ HUBUBAT REFERANS MATERYAL MERKEZ BİNASININ BYKHY KAPSAMINDA İNCELENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ					
Sıra No	BYKHY Kısım/Bölüm No	BYKHY Madde No	BYKHY Madde Adı	İncelenen Binanın Durumu	Açıklama
12	3/3	Madde 42	Dış Kaçış Merdivenleri	İlgisiz	-
13	3/3	Madde 43	Dairesel Merdiven	İlgisiz	-
14	3/3	Madde 44	Kaçış rampaları	İlgisiz	-
15	3/3	Madde 45	Kaçış Merdiveni Havalandırması	Uygun değil	Bütün korunmuş kaçış merdivenlerinin, doğal yolla veya Altıncı Kısımdaki gereklere uygun olarak mekanik yolla havalandırılması veya basınçlandırılması gerekmektedir. Tasarım bu hükümlere uygun olarak düzeltilmelidir.
16	3/3	Madde 46	Bodrum Kat Kaçış Merdivenleri	Uygun	Bir yapının bodrum katına hizmet veren herhangi bir kaçış merdiveninin, kaçış merdivenlerinde uyulması gereken bütün şartlara uygun olması gerekir.
17	3/3	Madde 47	Kaçış yolu kapıları	Uygun	Kaçış yolu kapılarının en az temiz genişliği 80 cm'den ve yüksekliği 200 cm'den az olamaz. Kaçış yolu kapılarında eşik olmaması gerekir.
18	4/2	Madde 54	Kazan Dairesi	Uygun değil	Kazan dairesi, binanın diğer kısımlarından, yangına en az 120 dakika dayanıklı bölmelerle ayrılmış olarak merkezi bir yerde ve bütün hâlinde bulunur. Kazan dairelerinde duman bacalarına ilave olarak temiz ve kirli hava bacaları yaptırılması şarttır. Tasarım bu hükümlere uygun olarak düzeltilmelidir.
19	4/4	Madde 57	Mutfaklar ve çay ocakları	Uygun değil	Mutfakların, binanın diğer bölümlerinden yangına en az 120dk dayanıklı bölmelerle ayrılması gerekmektedir. Tasarım bu hükümlere uygun olarak düzeltilmelidir.
20	4/5	Madde 59	Sığınaklar	İlgisiz	-
21	4/6	Madde 62	Asansörlerin özellikleri	Uygun	Asansör kuyusu ve makina dairesi, yangına en az 60 dakika dayanıklı ve yanıcı olmayan malzemeden yapılır. Asansör kabini dışında asansör holünde, kolayca okunabilecek büyüklükte "YANGIN SIRASINDA KUTLANILMAZ" levhasının olması zorunludur.



Şekil 2. Bodrum kat planı yangın tahliyesi (yeşil çizgi; BYKHY göre, mesafe açısından uygun kaçış yolunu göstermektedir.)



Şekil 3. Zemin kat planı yangın tahliyesi (yeşil çizgi; BYKHY göre, mesafe açısından uygun kaçış yolunu göstermektedir.)



**Şekil 4.** Birinci ve ikinci kat planı yangın tahliyesi (yeşil çizgi; BYKHY göre, mesafe açısından uygun kaçış yolunu göstermektedir.)

### 3. SONUÇLAR

Bu çalışmada örneklem olarak seçilen bina; BYKHY hükümleri gereğince incelenmiş ve tasarım aşamasında alınan pasif güvenlik önlemleri bağlamında ele alınmıştır. Tüm kat planları dikkate alınarak kullanıcı yükü katsayısı hesaplanmış ve en yoğun kullanıcı yükü (236 kişi) zemin katta tespit edilmiştir. Yangın çıkışları bu katın kullanıcı yükü dikkate alınarak tasarlanmıştır. Binada, BYKHY, Madde 39(2) gereğince, 2 çıkış yolu tesis edilmiş ve biri doğrudan dışarı açılmıştır. BYKHY, Ek 5A ve Ek 5B tabloları gereği, toplam çıkış genişliği hesaplanmış ve kaçış merdiveni, kaçış kapı genişliklerinin yönetmeliğe uygun olduğu tespit edilmiştir. Binada tek yönlü kaçış mesafesi 30 metreyi, kaçış uzaklığı ise 75 metreyi aşmamaktadır. BYKHY hükümlerine uymayan maddeler ise **Çizelge 1**'de belirtilmiş ve çözüm önerilerine de burada yer verilmiştir.

### KAYNAKLAR

1. H. Başdemir, F. Demirel, "Binalarda pasif yangın güvenlik önlemleri bağlamında bir literatür araştırması," *Politeknik Dergisi*, 13(2), 2010, pp:101-109.
2. F. Demirel, G. Tavman, M. Yaman, "Gazi Üniversitesi yeni mimarlık fakülte binasının "binaların yangından korunması hakkında yönetmelik" Bağlamında İncelenmesi," Tüyak 2017, Uluslararası Yangın ve Güvenlik Sempozyumu ve Sergisi.
3. F. Demirel, T. Tunç Kurt, Ö. Hoçanlı, "Bir üniversiteye ait derslik bloğunun "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik" bağlamında irdelenmesi," *Beykent University Journal Of Science And Engineering*, 7(1), 2014, pp: 69 – 79.
4. Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik (BYKHY) Resmi Gazete, Sayı 2941, 2015.

## **MEVCUT BİNALARDA SİSMİK VE ENERJİ İYİLEŞTİRME**

Hilal Günay<sup>1</sup>  
FSMVÜ Mimarlık ve Tasarım Fakültesi  
Haliç, Beyoğlu, İstanbul, 34445

### **ÖZET**

*Bina sektörü, doğrudan veya dolaylı olarak, enerji kayıplarını azaltmayı amaçlayan teknolojilerin uygulanmasının öncelikli ayaklarından biridir. Dünya ve Türkiye çapında sürdürülebilir büyüme hedeflerine ulaşmak için bina stoğunun enerji açısından yeniden değerlendirilmesi gerekmektedir. Günümüzde iyileştirme yoluyla mevcut binaların enerji verimliliğini artırmak, toplam enerji kullanımı ve buna bağlı sera gazı emisyonları üzerindeki önemli etkilerini azaltmak mümkündür. Buna ek olarak, sismik bölgelerde son zamanlarda meydana gelen depremler büyük ölçüde modern standartlara göre tasarlanmamış mevcut binaların hassasiyeti nedeniyle önemli ekonomik kayıplara neden olabilmektedir. Sismik ve enerji performansını ayrı müdahalelerle ele almak şu anda benimsenen yaygın bir yaklaşım olsa dahi maliyet etkinliği, güvenlik ve verimlilik elde etmek için bina iyileştirmeye yönelik yeni bütünsel yaklaşım ortaya çıkan yeni bir konudur. Önerilen çözümler, entegre dış iskelet çözümlerinden, mevcut bina kabuğu için güçlendirme ve yalıtım çözümlerine veya bunların daha iyi malzemelerle değiştirilmesi müdahalelerini içerebilmektedir. Ülkemizin deprem kuşağında yer alması ve sınırları içerisinde çeşitli iklim bölgelerinin bulunması, mevcut binalarda sismik ve enerji iyileştirmelerinin incelenebilmesi için uygun bir alan oluşturmaktadır. Çalışma kapsamında bu durum belirlenen bir konut binası üzerinden DesignBuilder programı aracılığı ile ılımlı kuru, ılımlı nemli, sıcak kuru, sıcak nemli ve soğuk iklim olmak üzere beş farklı iklim bölgesi için enerji yükleri açısından simülasyon yöntemi kullanılarak değerlendirilmektedir.*

*Anahtar sözcükler: Enerji iyileştirmesi, sismik iyileştirme, entegre iyileştirme sistemleri, DesignBuilder*

### **ABSTRACT**

*The building industry, directly or indirectly, is one of the priority areas for the applications of technologies aiming to reduce energy losses. Today, it is possible to improve the energy efficiency of existing buildings through retrofit, reducing their major influence on overall energy use and related to emissions of greenhouse gases. In addition, recent earthquakes in seismic zones can cause considerable financial damage, mainly linked to fragility of existing buildings not constructed to today's specifications. Even if considering seismic and energy efficiency with separate interventions is today a widespread practice, the new holistic approach to building retrofit to achieve economy, safe and efficient performance is an emerging issue. The proposed solutions may include interventions ranging from integrated exoskeleton systems to retrofitting and insulation applications for the existing building envelope or replacing them with more efficient material use. The fact that Turkey is in an earthquake zone and there are various climate zones within its borders creates a suitable area for the investigation of seismic and energy improvements in existing buildings. In the context of the study, this issue is analyzed by means of DesignBuilder software through a residential building in temperature-dry, temperate-humid, hot dry, hot humid and cold climates.*

*Key words: Energy retrofit, seismic retrofit, integrated retrofit systems, DesignBuilder*

---

<sup>1</sup> e-posta adresi: hgunay@fsm.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Dünyada gelinen son noktada iklim değişikliğindeki durum, sera gazı emisyonlarını azaltmak için acil çözümler sunulması gerekliliğini göstermektedir. Küresel olarak toplam enerji tüketiminin %35'inden ve sera gazı emisyonlarının %38'inden sorumlu olan bina sektörünün bu emisyonları azaltmada önemli bir rol oynadığı bilinen bir gerçektir [1]. Enerji tüketiminde azalma sağlamak için, binaların iyileştirilmesi yoluyla enerji verimliliğinin artırılması gerekmektedir.

Öte yandan mevcut bina stoğu, binaların önemli bir kısmının eski bina yönetmeliklerine ve sismik standartlara göre inşa edildiğini göstermektedir [2]. Bu durum, mevcut bina stoğunun son depremler karşısındaki hassasiyetinin ön plana çıkması ve yapısal hasara, önemli ekonomik kayıplara ve aynı zamanda ciddi yaralanmalara ve can kayıplarına yol açan büyük bir toplumsal risk oluşturmaya neden olabilmektedir. Bina öngörülen hizmet ömrünün sonuna yaklaştıkça yapısal elemanların kapasitesini büyük ölçüde azaltabilen ve hatta göçmelerine neden olabilen çelik takviye veya yapısal çelik elemanların aşırı korozyonu da dahil olmak üzere malzemelerin dayanıklılığıyla ilgili diğer riskler de ortaya çıkmaktadır [3,4].

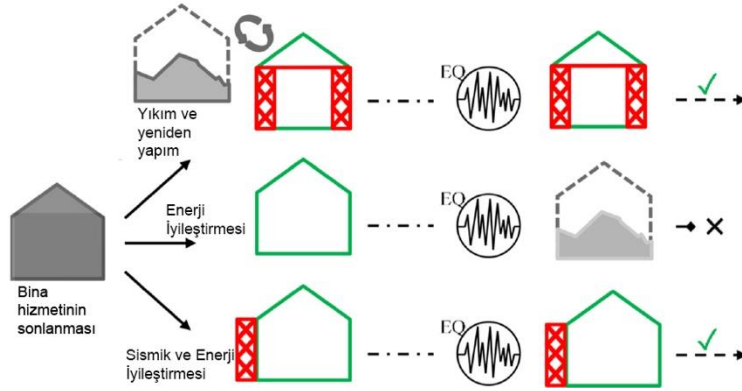
Sorunun büyüklüğü göz önüne alındığında, mevcut binaların enerji yetersizliklerinin ve yapısal eksikliklerinin değiştirilmesi yoluyla giderilmesi, mevcut kentsel doku ve toplum üzerinde ciddi bir etkiye sahip olacağından ve mali açıdan karşılanabilir veya çevresel açıdan sürdürülebilir olamayacağından uygulanabilir bir seçenek olmaktan uzaklaşmaktadır. Bunun yerine mevcut binaların bakım, onarım ve iyileştirme yoluyla ömürlerinin uzatılması tercih edilebilir.

Mevcut binalarda iyileştirmeyi teşvik etmek ve enerji iyileştirme yatırımlarının uzun ömürlü olmasını sağlamak için bina iyileştirmesine yönelik bütüncül bir yaklaşım etkili olabilmektedir [5]. Ancak yakın zamana kadar onarım ve iyileştirme çalışmaları ve ilgili politikalar, binaların yapısal bütünlüğü dikkate alınmaksızın yalnızca enerji iyileştirmesine yönelik olmuştur. Bir binanın yapısal bütünlüğünün göz ardı edilmesi, enerji iyileştirmesi yapılmış bir bina için gerçek tasarruflar konusunda yanıltıcı beklentilere neden olabileceğinden ve enerji iyileştirmesi tek başına yapısal güvenlik açığında herhangi bir azalmaya yol açmayacağından, bina yenileme konusunda böyle bütüncül bir bakış açısının teşvik edilmesi önemlidir. Sadece enerji verimliliği önlemlerine yapılan yatırımlar, örneğin bir deprem durumunda yapının hasar görmesi veya göçmesi halinde tamamen kaybedilebilmektedir [6]. Benzer şekilde, bir binanın enerji verimliliği dikkate alınmazsa, tek başına sismik güçlendirme müdahaleleri bina termal konforunu tehlikeye atabilmektedir.

Bilimsel literatürde entegre iyileştirme konusu son on yılda ilgi görmeye başlamıştır. Dolayısıyla mevcut binalarda entegre müdahalelerden elde edilecek potansiyel faydaların değerlendirilmesi için yeni metodolojilere ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışmada, entegre sismik ve enerji iyileştirmeleri için malzeme ve teknolojiler konusunda ortaya çıkan bilimsel araştırmalar üzerine incelemeler sunulmaktadır. Sunulan teknoloji seçenekleri üzerinden ülkemiz mevcut yapıları için sismik ve enerji iyileştirmesi konusu tartışılmaktadır. Ülkemizin deprem kuşağında yer alması ve sınırları içerisinde çeşitli iklim bölgelerinin bulunması, mevcut binalarda sismik ve enerji iyileştirmelerinin incelenmesi için uygun bir alan oluşturmaktadır. Çalışma kapsamında bu durum, belirlenen bir konut binası üzerinden literatürden edinilen sismik iyileştirme uygulamasına ek olası enerji iyileştirme müdahaleleri bağlamında DesignBuilder programı aracılığı ile ılımlı kuru, ılımlı nemli, sıcak kuru, sıcak nemli ve soğuk iklim olmak üzere beş farklı iklim bölgesi için ısıtma ve soğutma enerji yükleri açısından simülasyon yöntemi kullanılarak değerlendirilmektedir.

## 2. ENTEGRE BİNA İYİLEŞTİRME SİSTEMLERİ

Mevcut bir binanın yapısal ve enerji açısından iyileştirilmesi günümüze kadar genellikle bağımsız olarak ele alınmıştır. Son yıllarda bu iyileştirmelerin bir arada düşünüldüğü entegre sistemler karşımıza çıkmaktadır. Sismik tehlikenin bulunduğu bölgelerde sismik hasar veya göçmenin enerji iyileştirme yatırımının güvenliğini de etkileyeceği göz önüne alındığında iki iyileştirme ihtiyacı (yapısal ve enerji) doğal olarak bağlantılı hale gelmektedir. **Şekil 1**'de mevcut bir binanın yıkılıp yerine yenisinin yapılması ile mevcut bir bina için iki farklı iyileştirme yaklaşımı karşılaştırılmaktadır. İlkinde sadece enerji verimliliği iyileştirmesi uygulanmakta ve bu da binayı olası bir sismik etkiye karşı savunmasız bırakmaktadır. Yapının kullanım ömrü içinde yapısal eksikliklerin giderilmediği durumda olası bir depremde yapıda hasar meydana gelmesi muhtemeldir. Sismik etkinin şiddetine bağlı olarak bina müdahaleleri düşük boyutlu onarım çalışmalarından binanın tamamen yenilenmesine kadar değişebilmektedir. Bu durumda binanın kendisiyle birlikte sahip olduğu enerji iyileştirmesi de etkilenebilmektedir.



Şekil 1. Mevcut bina iyileştirme senaryoları ([5]'ten uyarlanmıştır)

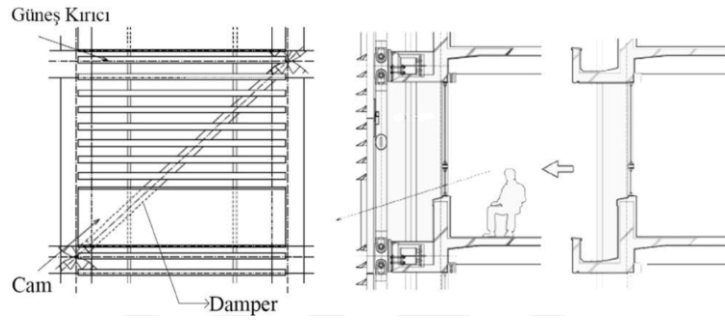
Mevcut binalarda entegre teknikler hem sismik güvenlik hem de enerji verimliliği açısından gerekli performans seviyelerini garanti ederek tek bir sistem veya malzeme ile enerji ve sismik performans iyileştirmesini aynı anda gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır. Bu durum daha derinlemesine bir anlayış ve tasarım gerektirse de entegre sistemler ayrı müdahalelerin kombinasyonlarına kıyasla kesinti süresini ve işçilik maliyetlerini azaltabilir. Literatürde farklı türde entegre sismik ve enerji iyileştirme çözümleri önerilmiştir ve bunlar genel olarak şu şekilde gruplandırılabilirler; dış iskelet müdahaleleri, kabuk elemanlarının iyileştirilmesi, kabuk elemanlarının daha yüksek performanslı elemanlarla değiştirilmesi.

### 2.1. Dış İskelet Müdahaleleri

Dış iskelet müdahaleleri, sismik eylemlere karşı savunmasız olan mevcut bir binaya rijit bir şekilde bağlanmış harici bir kendi kendini destekleyen sistem eklemeyi içermektedir. Yapısal dış iskeletler, duvar benzeri sistemler (perde duvarlar veya destekli çerçeveler) ya da kabuk benzeri sistemler olarak iki ana kategoriye ayrılmaktadır. Mevcut bina iyileştirmesi için dış iskeletlerin uygulanması, bina sakinlerine daha az rahatsızlık verme, deprem sonrası bina kullanımında kesinti süresini azaltma, binanın yapısal hizmet ömrünü uzatma ve bina yaşam döngüsü boyunca sismik hasarla ilişkili çevresel etkiyi azaltma gibi faydalar sağlayabilmektedir [7]. Ayrıca bu teknik, yeni katlar

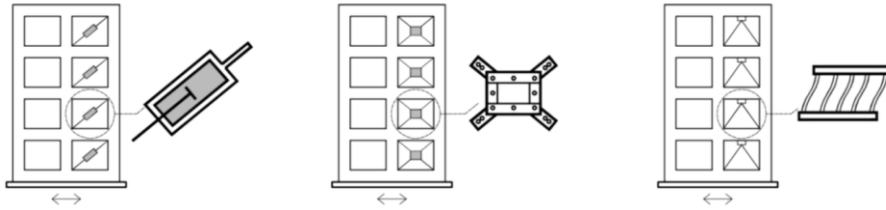
ekleme ve binanın dış görünümünü ve dolayısıyla estetiğini değiştirme imkanı vermektedir. Yine de dış iskelet çözümleri, yapının etrafında açıklığa ihtiyaç duyulması, ek bir temel sistemine ihtiyaç duyulması ve yapının dış görünümünün önemli ölçüde değişmesi nedeniyle her zaman uygulanabilir olmamaktadır. Ayrıca yükler genellikle zemin seviyesindeki bağlantılar vasıtasıyla mevcut binadan dış iskelete aktarıldığından yatay diyafram (kiriş ya da döşeme) yeterince rijit ve dayanıklı değilse, müdahale etkili olmayabilmektedir [5].

Dış iskelet müdahalesi ilk olarak Tokyo Teknoloji Enstitüsü'ndeki Midorigaoka-1. Binası'nda uygulanmıştır. Yapı 1971'de uygulamaya konulan Japonya Bina Kodu'nun revizyonundan önce 1966'da tasarlandığı için iyileştirme projesinde sismik sönümleyici damperlerin yerleşeceği cepheye ek olarak güneş kırıcı ve camdan oluşan yüzeyler eklenmiştir (Şekil 2). İkincil bir kabuk olarak güneş kırıcı ve cam oranları Tokyo iklim koşulları dikkate alınarak CFD simülasyonu ile belirlenmiştir [8].



Şekil 2. Midorigaoka-1. Binası sismik ve enerji iyileştirmesi ([8]'den uyarlanmıştır)

Dış iskelet müdahalelerine diğer örnekler, sismik güçlendiriciler (burkulması önlenmiş çaprazlar, enerji sönümleyici elemanlar) (Şekil 3) ile fotovoltaik panellerin birlikte kullanılması, cephelerde diagrid sistemler uygulanması, cephe elemanlarının prekast panellerle güçlendirilmesi şeklinde olabilmektedir [5,9].



Şekil 3. Sırayla viskoz sönümleyici, sürtünmeli sönümleyici, eğimli metal sönümleyici

## 2.2. Kabuk Elemanlarının İyileştirilmesi

Kabuk elemanlarının daha yüksek enerji ve sismik performans elde etmek için iyileştirilmesi diğer entegre sistem teknikleridir. Bu teknikler, mevcut dolgu veya yığma duvarların kompozit malzemelerle güçlendirilmesi şeklinde olabilmektedir. Bunlar, tekstil takviyeli harçlar, epoksi reçineler ve geliştirilmiş çimento esaslı kompozitler veya çelik elyaf takviyeli harçlar kullanılarak yapıştırılan elyaf takviyeli polimer levhalar ve lifli sıva katmanları kullanılması şeklinde çeşitlenmekte ve bu sistemlerin yalıtım malzemesi eklenerek çok katmanlı hale getirilmesi ile mevcut binalarda sismik ve enerji iyileştirmesi sağlanabilmektedir [10]. Prefabrike tekstil takviyeli



beton paneller, Ahşap CLT paneller ve geri dönüştürülmüş çelik fiber takviyeli mikro betondan ince yüzeyler ve bir polistiren çekirdek içeren çok işlevli sandviç paneller bina kabuğunda entegre iyileştirme için önerilmiştir [5]. Kabuk elemanlarının iyileştirilmesindeki bir diğer parametre pencere ve kapı gibi açıklıkların yeniden ele alınmasıdır. Bu açıklıkların yığma binalarda taşıyıcı sistemi etkilemesi ve bina enerji performansında etkili olması nedeniyle mevcut binadaki olası açıklık düzenlemeleri binanın sismik ve enerji iyileştirmesinde rol oynayabilmektedir.

### 2.3. Kabuk Elemanlarının Değiştirilmesi

Mevcut binalarda yapısal olmayan cephe elemanlarına yönelik iyileştirme müdahaleleri, pratikte uygulanamayabilir veya ekonomik olarak karşılanamayabilir. Bu gibi durumlarda mevcut dolgu dış duvarlara uygulanabilecek iyileştirme müdahalelerine kıyasla daha problematik olmasına rağmen kabuk elemanlarının değiştirilmesi geçerli bir alternatif olabilmektedir. Bu durum özellikle taşıyıcı çerçevenin güçlendirilmesi için yapısal elemanlara müdahale edilmesi ve dolayısıyla mevcut dolgu duvarların kısmen yıkılması, yeni bir duvarın inşa edilmesi ve önceki duvarda bulunan kaplama ve tesisatların feda edilmesi aşamalarını gerektirmektedir. Bu teknik, bina kabuğunun (örneğin dolgular/paneller) değiştirilebildiği betonarme veya çelik çerçeveli yapılar için geçerli olmakla birlikte kabukları yük taşıyan bileşenlerden (duvarlar) oluştuğu için yığma binalar için geçerli değildir.

Kabuğun değiştirilmesi durumunda son araştırmalar, aynı anda hem yeterli sismik direnç hem de gelişmiş enerji performansı sağlayabilecek elemanların geliştirilmesine odaklanmıştır. Sismik performans açısından yeni dolguların rijitliğinin ve dayanımının artırılması veya dolgu ile betonarme çerçeve arasındaki etkileşimlerin azaltılması yoluyla çerçevenin deforme olabilirliğinin artırılması sağlanabilir. Enerji performansı açısından yaklaşımlar, duvar konstrüksiyonu için yeni ve daha enerji verimli elemanların (örneğin tuğla birimleri ve/veya harç) kullanılmasını ve/veya yeni duvarın üzerine yalıtım katmanlarının uygulanmasını içerebilir.

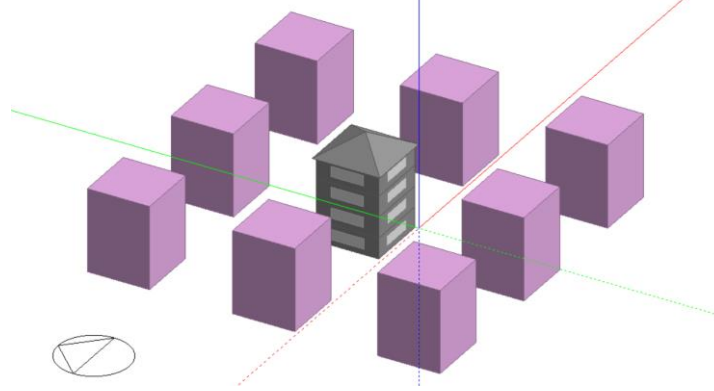
Tüm bu teknikler analiz edildiğinde entegre iyileştirme sistemleri ve teknikleri; bina enerji performansında iyileştirmeler sağlamak, bina sismik performansında iyileştirmeler sağlamak, sismik kontrolün mimari tasarım üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmek, cephe karakterine estetik olanaklar sunmak açılarından potansiyel oluşturmaktadır.

## 3. ÇALIŞMA YÖNTEMİ

Ülkemizin aktif deprem kuşağında yer alması ve enerji verimsiz mevcut yapı stoğunun yoğun olması çalışmanın sismik ve enerji iyileştirmesini içeren entegre teknikler üzerine eğilmesinde etkili olmuştur. Çalışmada sismik iyileştirme amaçlı yapısal sisteme dahil edilebilen enerji sönümleyici çaprazların bina cephesine eklendiği varsayılmış, enerji iyileştirmeleri için ise bina kabuğunda uygulanabilecek olası yöntemlerin etkinliği DesignBuilder simülasyon programı ile araştırılmıştır. Dış ortam şartları için Türkiye’de sıcak-nemli iklim bölgesi olarak Antalya ili, sıcak-kuru iklim bölgesi olarak Diyarbakır ili, ılımlı nemli iklim bölgesi olarak İstanbul ili, ılımlı-kuru iklim bölgesi olarak Ankara ili ve soğuk iklim bölgesi olarak Erzurum ili kabul edilmiştir. TS 825 isimli binalarda ısı yalıtım kuralları standardının gereklilikleri göz önünde bulundurularak bu illerin iklim şartları altında bir konut binasının DesignBuilder programında ısı enerji yükleri; yalıtım, saydamlık oranı, saydam malzeme türü, fotovoltaik panel ekleme ve güneş kırıcı eleman kullanımını değişkenleri açısından değerlendirilmiştir.

### 3.1. Binaya İlişkin Bilgiler

Çalışmada 9mx9m plan boyutlu, 3 metre kat yüksekliği bulunan ve 4 kattan oluşan, 40 cm saçağı bulunan 30° eğimli kırma çatıya sahip konut binası incelenen tüm iklim bölgelerinde sabit hacim olarak kabul edilmiştir. Simülasyon programında veri olarak kullanılan ana bina ve çevre binalar Şekil 4’te gösterilmiştir. Ana binanın çevre binalar ilişkisinde kullanılan yükseklik/sokak genişliği (h/v) oranı 1 olarak alınmıştır.



Şekil 4: Simülasyon programında veri olarak kullanılan hacim

Çalışmada belirlenen mevcut bina cephesinde bulunan opak bileşen, kireç harçlı sıva-yatay delikli tuğla duvar-çimento harçlı sıva- alçı sıva şeklindedir. Saydamlık oranı ise doğu, batı, güney yönünde cephenin %30’u büyüklüğünde; kuzey yönünde cephenin %10’u büyüklüğünde 1,5 metre yüksekliğinde çift cam kullanımı şeklindedir. Eklenecek yalıtım katmanı TS 825’e bağlı olarak iklim bölgelerine uygun şekilde değişmektedir (Çizelge 1).

Çizelge 1: TS 825’e göre illerin iklim bölgeleri

İKLİM BÖLGESİ	İL	ISITMA DERECE-GÜN BÖLGESİ (TS 825)	DIŞ DUVAR U DEĞERİ (W/m <sup>2</sup> K)
<i>Ilımlı Nemli İklim Bölgesi</i>	İstanbul	2. Bölge	0,57
<i>Ilımlı Kuru İklim Bölgesi</i>	Ankara	3. Bölge	0,48
<i>Soğuk İklim Bölgesi</i>	Erzurum	5. Bölge	0,36
<i>Sıcak Kuru İklim Bölgesi</i>	Diyarbakır	2. Bölge	0,57
<i>Sıcak Nemli İklim Bölgesi</i>	Antalya	1. Bölge	0,66

### 3.2. Hesaplamaya İlişkin Bilgiler

Hesaplamalar yapılırken DesignBuilder simülasyon programı kullanılmıştır. Öncelikle mevcut yalıtımsız ve %30 saydamlık oranına sahip bina için ısıtma ve soğutma yükleri hesaplanmıştır. Sonraki aşamada Türkiye Isı Yalıtım Kuralları Standardı TS 825 veri olarak kullanılmış ve bina kabukları için sağlanması gereken toplam ısı geçirme katsayısı bina kabuk alternatifleri için standartta belirtilen değerlere göre hesaplanmıştır. TS 825 standardına göre sıcak-nemli iklim bölgesi için seçilen şehir Antalya’da bina kabuğu opak bileşeni için sağlanması gereken toplam ısı

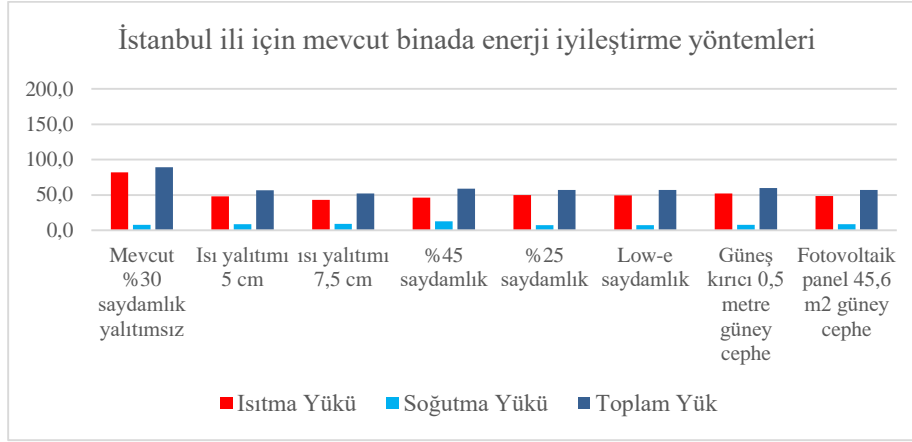
geçirme katsayısı  $0,66 \text{ W/m}^2\text{K}$ , sıcak-kuru iklim bölgesi için seçilen şehir Diyarbakır ve ılımlı-nemli iklim bölgesi için seçilen şehir İstanbul'da bina kabuğu opak bileşeni için sağlanması gereken toplam ısı geçirme katsayısı  $0,57 \text{ W/m}^2\text{K}$ , ılımlı-kuru iklim bölgesi için seçilen şehir Ankara'da bina kabuğu opak bileşeni için sağlanması gereken toplam ısı geçirme katsayısı  $0,48 \text{ W/m}^2\text{K}$ , soğuk iklim bölgesi için seçilen şehir Erzurum'da bina kabuğu opak bileşeni için sağlanması gereken toplam ısı geçirme katsayısı  $0,36 \text{ W/m}^2\text{K}$  olarak alınmıştır. Bu değerlere göre kabuk alternatifleri, taş yünü ısı yalıtım levhası uygun kalınlıklarda eklenerek oluşturulmuştur. Bir sonraki senaryoda yalıtım katmanı, TS 825 standardına göre belirlenen yalıtım katmanının yaklaşık 1,5 katına çıkarılmış ve bu durumun ısıtma-soğutma yüklerine etkisi hesaplanmıştır. Enerji yükleri birim başına ( $\text{kWh/m}^2$ ) olarak verilmiştir.

Mevcut binalarda yapılabilecek bir diğer enerji iyileştirme yöntemi olarak saydam yüzeyler ile ilgili değişiklikler söz konusu olmaktadır. Bu açıdan mevcut binada saydam yüzey oranının %30'dan %45'e yükselmesi ve %25'e düşürülmesi ile 3-13-3mm Low-e cam (düşük emisyonlu cam) uygulanması durumları ayrı olarak simülasyonda hesaplanmıştır. Sismik iyileştirme için cepheye eklenecek elemanları gizleyebilmek amacıyla güneş kırıcı elemanlar eklenebilmektedir. Dolayısıyla bu durumun ısı yüklerine etkisini gözlemleyebilmek amacıyla simülasyonda mevcut binanın sadece güney cephesine 0,5 metre derinliği olan çelik yatay güneş kırıcı/gölgeleyici elemanlar eklenmiş ve ısıtma-soğutma yükleri hesaplanmıştır. Mevcut binalarda sismik ve enerji iyileştirmesi amacıyla bina cephesinin yeniden ele alındığı durumlarda cephelere fotovoltaik paneller eklemek diğer bir çözüm olabilmektedir. Bu yüzden mevcut binada güney cephe opak kısımlarına  $45,6 \text{ m}^2$ 'lik yüzey alanına sahip ( $1,9\text{m} \times 12\text{m} \times 2$ ) fotovoltaik paneller eklenmiş ve ısı yükleri hesaplanmıştır. Beş farklı iklim bölgesi için yapılan bu alternatif hesaplamalarında mevcut binanın TS 825'e göre yalıtıldığı kabul edilmiştir.

#### **4. MEVCUT BİR BİNANIN ENERJİ İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ AÇISINDAN ISITMA, SOĞUTMA VE TOPLAM ENERJİ YÜKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

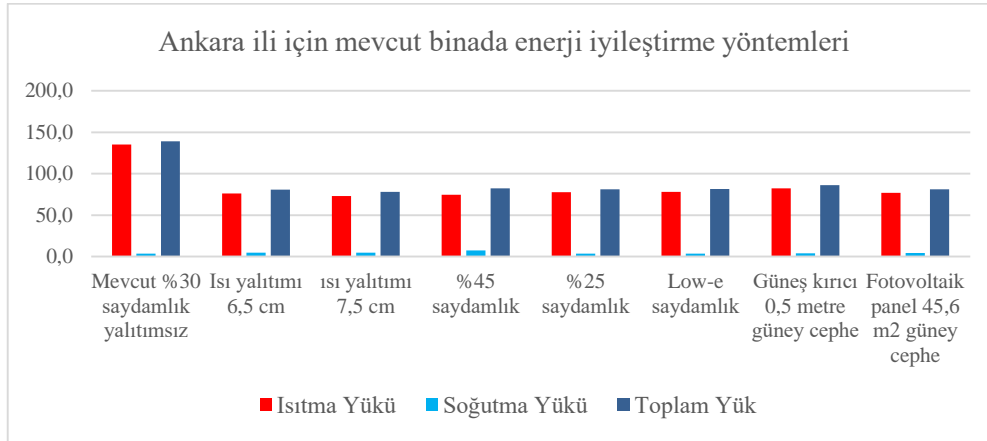
DesignBuilder programı simülasyon sonuçlarına göre İstanbul, Ankara, Erzurum, Diyarbakır ve Antalya illeri için mevcut binada olası enerji iyileştirme yöntemleri alternatiflerinin yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri Şekil 5, 6, 7, 8, 9'da verilmiştir.

İstanbul ili için TS 825 standardında verilen  $u$  değerini sağlamak amaçlı 5 cm'lik taş yünü levhanın ısıtma yüklerini düşürdüğü bu sayede toplam yükte azalma olduğu gözlenmiş, ısı yalıtımının 7,5 cm'ye çıkarılması durumunda ise ısıtma ve soğutma yüklerinde daha fazla azalma ve sonuç olarak toplam yükte önemli bir azalma tespit edilmiştir. Diğer simülasyonlarda TS 825 verilerine uygun olarak ısı yalıtımı 5 cm tutulmuştur. Saydamlık oranı, saydam malzeme cinsinin Low-e cam ile değiştirilmesi, güney cepheye 0,5 m'lik güneş kırıcılar eklenmesi ve fotovoltaik panellerin güney cepheye eklenmesi senaryolarından en verimlisi fotovoltaik panel eklenmesi olarak gözlenmiştir (Şekil 5).



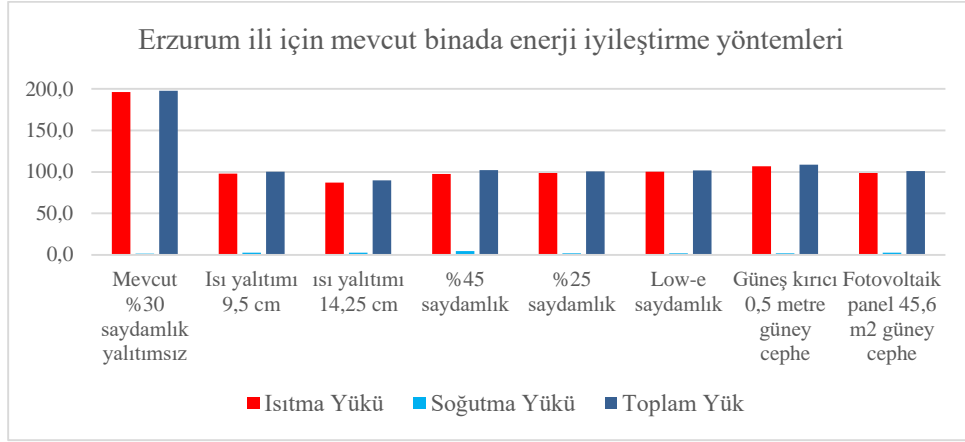
Şekil 5: İstanbul ili enerji iyileştirme yöntemleri alternatiflerinin yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri

Ankara ili için TS 825 standardında verilen u değeri 6,5 cm'lik taş yünü levha ile sağlanmış bu durumun ısıtma ve soğutma yüklerini düşürdüğü gözlenmiş, ısı yalıtımının 7,5 cm'ye çıkarılması durumunda ise ısıtma yükünde bir miktar daha azalma soğutma yükünde ise bir miktar artış tespit edilmiştir. Diğer simülasyonlarda TS 825 verilerine uygun olarak ısı yalıtımı 6,5 cm tutulmuştur. Saydamlık oranı, saydam malzeme cinsinin Low-e cam ile değiştirilmesi, güney cepheye 0,5 m'lik güneş kırıcılar eklenmesi ve fotovoltaik panellerin güney cepheye eklenmesi senaryolarından en verimlisi fotovoltaik panel eklenmesi olarak gözlenmiştir (Şekil 6).



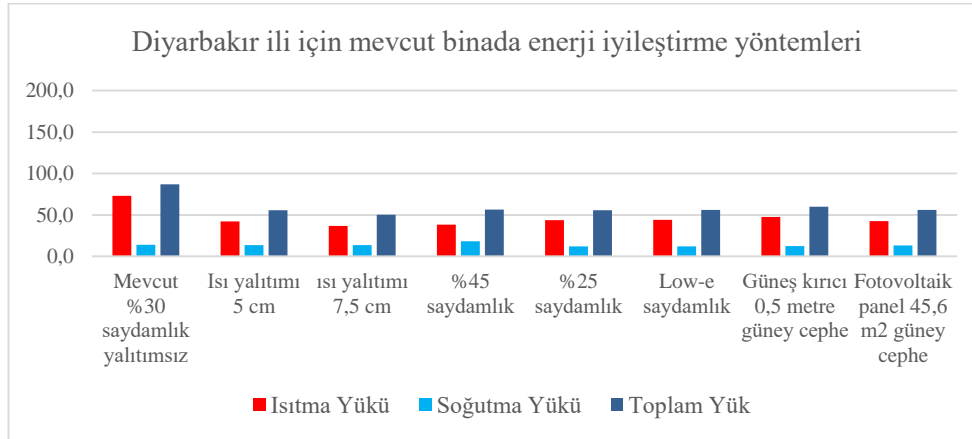
Şekil 6: Ankara ili enerji iyileştirme yöntemleri alternatiflerinin yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri

Erzurum ili için TS 825 standardında verilen u değeri 9,5 cm'lik taş yünü levha ile sağlanmış bu durumun ısıtma ve soğutma yüklerini yaklaşık %50 oranında düşürdüğü gözlenmiş, ısı yalıtımının 14,25 cm'ye çıkarılması durumunda ise ısıtma ve soğutma yüklerinde bir miktar daha azalma tespit edilmiştir. Diğer simülasyonlarda TS 825 verilerine uygun olarak ısı yalıtımı 9,5 cm tutulmuştur. Saydamlık oranı, saydam malzeme cinsinin Low-e cam ile değiştirilmesi, güney cepheye 0,5 m'lik güneş kırıcılar eklenmesi ve fotovoltaik panellerin güney cepheye eklenmesi senaryolarından en verimlisi fotovoltaik panel eklenmesi olarak gözlenmiştir (Şekil 7).



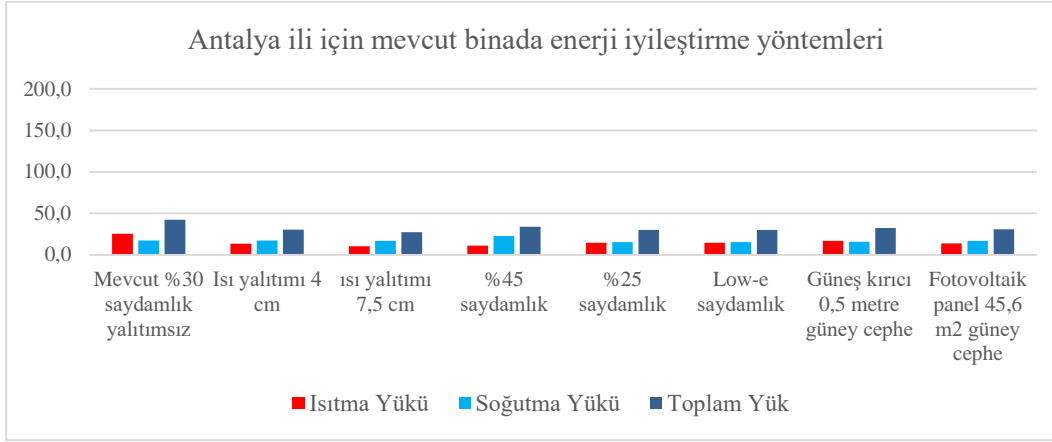
Şekil 7: Erzurum ili enerji iyileştirme yöntemleri alternatiflerinin yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri

Diyarbakır ili için TS 825 standardında verilen  $u$  değerini sağlamak amaçlı 5 cm'lik taş yünü levhanın ısıtma yüklerini düşürdüğü bu sayede toplam yükte azalma olduğu gözlenmiş, ısı yalıtımının 7,5 cm'ye çıkarılması durumunda ise ısıtma ve soğutma yüklerinde daha fazla azalma ve sonuç olarak toplam yükte önemli bir azalma tespit edilmiştir. Diğer simülasyonlarda TS 825 verilerine uygun olarak ısı yalıtımı 5 cm tutulmuştur. Saydamlık oranı, saydam malzeme cinsinin Low-e cam ile değiştirilmesi, güney cepheye 0,5 m'lik güneş kırıcılar eklenmesi ve fotovoltaik panellerin güney cepheye eklenmesi senaryolarından en verimlisi fotovoltaik panel eklenmesi olarak gözlenmiştir (Şekil 8).



Şekil 8: Diyarbakır ili enerji iyileştirme yöntemleri alternatiflerinin yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri

Antalya ili için TS 825 standardında verilen  $u$  değeri 4 cm'lik taş yünü levha ile sağlanmış bu durumun ısıtma ve soğutma yüklerini düşürdüğü gözlenmiş, ısı yalıtımının 7,5 cm'ye çıkarılması durumunda ise ısıtma ve soğutma yükünde bir miktar daha azalma tespit edilmiştir. Diğer simülasyonlarda TS 825 verilerine uygun olarak ısı yalıtımı 4 cm tutulmuştur. Saydamlık oranı, saydam malzeme cinsinin Low-e cam ile değiştirilmesi, güney cepheye 0,5 m'lik güneş kırıcılar eklenmesi ve fotovoltaik panellerin güney cepheye eklenmesi senaryolarından en verimlileri saydamlık oranının azalması ve fotovoltaik panel eklenmesi olarak gözlenmiştir (Şekil 9).



**Şekil 9:** Antalya ili enerji iyileştirme yöntemleri alternatiflerinin yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri

## 5. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında mevcut durum ve 7 farklı enerji iyileştirme alternatifi ve ılımlı-nemli, ılımlı-kuru, sıcak-nemli, sıcak-kuru, soğuk iklim olmak üzere 5 farklı iklim bölgesi için 40 farklı senaryo oluşturulmuştur. Her bir iyileştirme senaryosu için DesignBuilder simülasyon programında İstanbul, Ankara, Erzurum, Diyarbakır ve Antalya illeri iklim şartları altında ısıtma, soğutma ve toplam yükleri hesaplanmıştır. Tüm simülasyonlar değerlendirildiğinde İstanbul, Ankara, Erzurum ve Diyarbakır'da mevcut bir bina için sismik iyileştirmenin yanında ısı yalıtımının standarda uygun hale getirilmesi ve güney yönde fotovoltaik paneller eklenmesi bina enerji iyileştirmesi için olumludur. Antalya'da ise mevcut bir bina için sismik iyileştirmenin yanında ısı yalıtımının standarda uygun hale getirilmesi, saydamlık oranının %30'dan %25'e düşürülmesi ve güney yönde fotovoltaik paneller eklenmesi bina enerji iyileştirmesi için olumlu sonuçlar vermektedir. Çalışma literatür incelemesi ve simülasyon yöntemlerini kullanarak aktif deprem bölgesi olan ülkemiz yapılarında sismik ve enerji iyileştirmesi konularının ele alınması için farkındalık yaratmayı amaçlamaktadır.

## TEŞEKKÜR

İTÜ Yapı Bilimleri Doktora Programı Güneş Işınımı ve Yapı Dizaynı Dersi kapsamında üretilen bu çalışma için dersin yürütücüsü Sayın Prof. Dr. Gül KOÇLAR ORAL'a teşekkür ederim.

## KAYNAKLAR

1. Hamilton, I., Rapf, O., Kockat, D. J., Zuhair, D. S., Abergel, T., Oppermann, M., ... ve Steurer, N. (2020). 2020 global status report for buildings and construction. *United Nations Environmental Programme: Nairobi, Kenya*.
2. Palermo, V., Tsionis, G. ve Sousa, M. L. (2018). Building stock inventory to assess seismic vulnerability across Europe. *Publications Office of the European Union: Luxembourg*.
3. Köliö, A., Pakkala, T. A., Lahdensivu, J., ve Kiviste, M. (2014). Durability demands related to carbonation induced corrosion for Finnish concrete buildings in changing climate. *Engineering structures*, 62, 42-52.

4. Bru, D., González, A., Baeza, F. J. ve Ivorra, S. (2018). Seismic behavior of 1960's RC buildings exposed to marine environment. *Engineering Failure Analysis*, 90, 324-340.
5. Pohoryles, D. A., Bournas, D. A., Da Porto, F., Caprino, A., Santarsiero, G. ve Triantafillou, T. (2022). Integrated seismic and energy retrofitting of existing buildings: A state-of-the-art review. *Journal of Building Engineering*, 105274.
6. Belleri, A. ve Marini, A. (2016). Does seismic risk affect the environmental impact of existing buildings?. *Energy and Buildings*, 110, 149-158.
7. Marini, A., Passoni, C., Belleri, A., Feroldi, F., Preti, M., Metelli, G., ... ve Plizzari, G. (2022). Combining seismic retrofit with energy refurbishment for the sustainable renovation of RC buildings: A proof of concept. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 26(7), 2475-2495.
8. Takeuchi, T., Yasuda, K. ve Iwata, M. (2006). studies on integrated building façade engineering with high-performance structural elements. In *IABSE Symposium Report* (Vol. 92, No. 4, pp. 33-40). International Association for Bridge and Structural Engineering.
9. Günay, H. ve Torunbalcı, N. (2023). Retrofit of Masonry Structures with Seismic Control Methods and Architectural Design Requirements. *Journal of Architectural Engineering*, 29(4), 03123005.
10. Bournas, D. A. (2018). Concurrent seismic and energy retrofitting of RC and masonry building envelopes using inorganic textile-based composites combined with insulation materials: A new concept. *Composites Part B: Engineering*, 148, 166-179.
11. TS 825. (2013). Binalarda Isı Yalıtım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

# **BİNA PERFORMANS OPTİMİZASYONU VE BİNA KULLANICI KONFORUNUN ARTIRILMASI İÇİN TAKİP KAVRAMLARININ İNCELENMESİ**

Emel Uçak<sup>1</sup>  
Fatih Topak<sup>2</sup>  
Mehmet Koray Pekerçli<sup>3</sup>  
ODTÜ Mimarlık Fakültesi  
Üniversiteler Mahallesi, Dumlupınar Bulvarı No:1, Çankaya, Ankara, 06800

## **ÖZET**

*Bina performansı ve kullanıcı konforu, binaların çevresel etkisini azaltmak ve kullanıcı refahını sağlamak için önemlidir ve bu bağlamda takip kavramları, her iki olguyu eş zamanlı sağlamak için önemli bir stratejidir. Bu araştırmada güncel literatürün taranması amaçlanarak takip kavramlarını insanlar, kapalı alan, ekipman, bina performansı ve kullanıcı konforu bağlamında ele alan 2014-2023 yılları arasında en çok atıf almış 100 makale analiz edilmiştir. Bu makaleler Web of Science veri tabanı kullanılarak tespit edilmiştir. Birçok farklı araştırma alanı tespit edilmekle birlikte, inşaat ve yapı teknolojileri alanındaki çalışmalarda inşaat sahalarında güvenlik, sağlık, planlama, yönetim ve konumlama gibi konulara yoğunlaşıldığı saptanmıştır. Anahtar kelime analizi, takip, sanal gerçeklik, bilgisayar görüşü, sensör teknolojileri, konumlandırma, navigasyon, IoT, iletişim teknolojileri ve veri birleştirme etrafında dönen çeşitli anahtar kelimeleri açığa çıkarmıştır. Veri setindeki en etkin kaynağın Automation in Construction olduğu tespit edilmiştir. Çin Halk Cumhuriyeti ise veri grubundaki en aktif ülke olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, bu alandaki araştırmanın önemli yönleri belirlenmiştir.*

*Anahtar sözcükler: Kullanıcı Konforu, Bina Performansı, Takip, Bibliyometrik Analiz*

## **ABSTRACT**

*Building performance and occupant comfort are important phenomena to reduce the environmental impact of buildings and ensure occupant well-being where tracking concepts is a vital strategy for aligning both phenomena. This research analyzes the top 100 most cited articles over 2014-2023 surrounding tracking concepts in relation to people, indoor space, equipment, building performance, and occupant comfort. These articles are identified using the Web of Science database. With numerous diverse research fields identified, studies in the field of construction and building technologies have focused on safety, health, planning, management, and tracking in construction sites. Keyword analysis reveals various keywords such as monitoring, virtual reality, computer vision, sensor technologies, space positioning, navigation, positioning, IoT, communication technologies, and data fusion. Automation in Construction is revealed as the most influential source in the data set. The People's Republic of China is determined as the most active country in the data set. Consequently, critical aspects of research in this field are identified.*

*Key words: Occupant Comfort, Building Performance, Tracking, Bibliometric Analysis*

<sup>1</sup> e-posta adresi: emel.ucak@metu.edu.tr

<sup>2</sup> e-posta adresi: ftopak@metu.edu.tr

<sup>3</sup> e-posta adresi: koray@metu.edu.tr

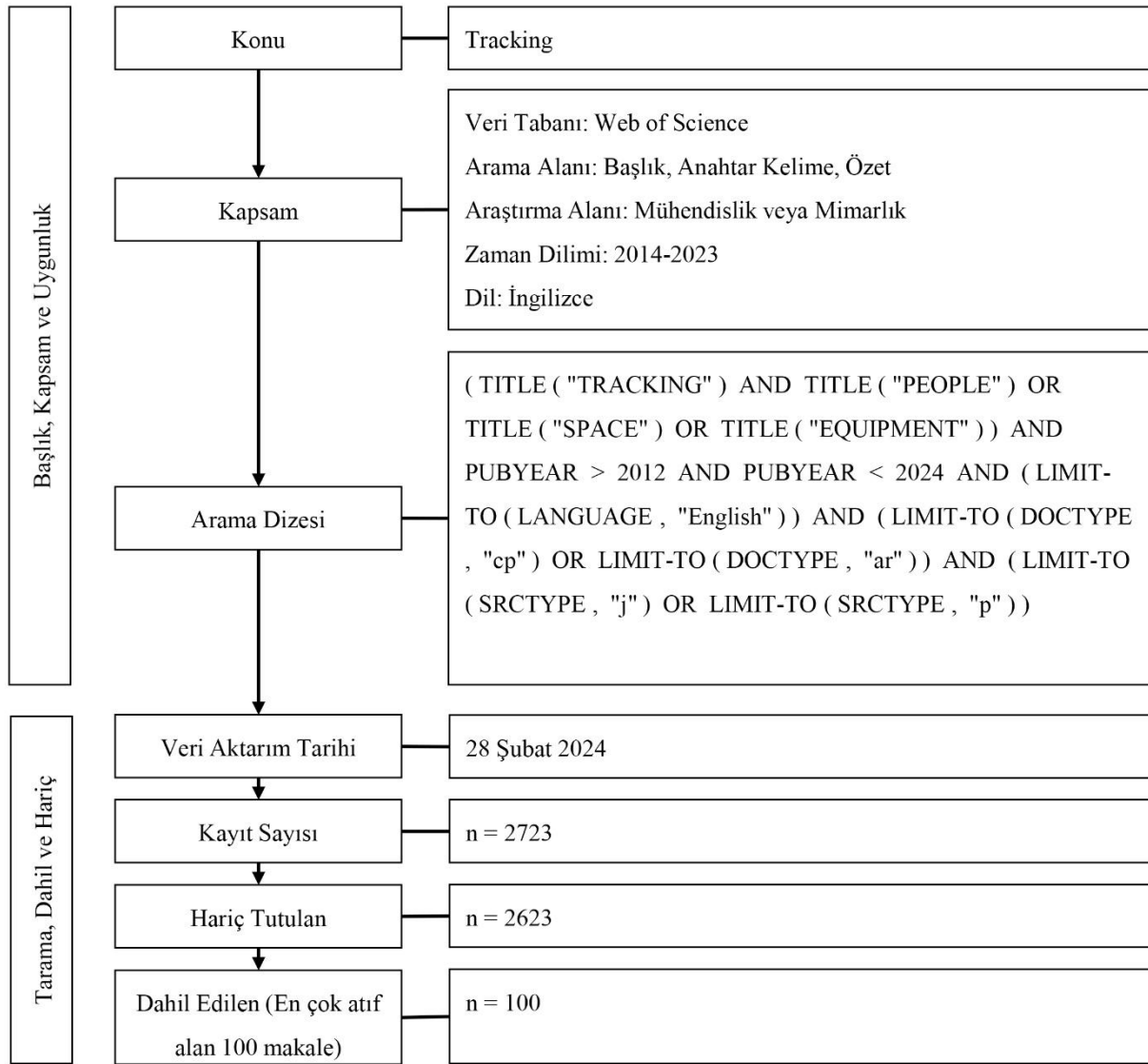


## 1. GİRİŞ

Yapılı çevre enerji tüketiminin önemli ölçüde şekillendirmektedir. İklim değişikliği ve çevresel sürdürülebilirlik endişelerinin artmasıyla, binaların performansının optimize edilmesi ve dolayısıyla çevresel etkilerinin azaltılması gerekmektedir [1]. Aynı zamanda, bina sakinlerinin konfor ve refahlarının sağlanması, yaşam kalitelerini ve üretkenliklerini artırmak için önemli bir unsurdur [2], [3]. Takip kavramı, bina performansının iyileştirilmesi ve bina sakinlerinin ihtiyaçlarının karşılanması için umut vadeden bir stratejidir. Dardari'ye göre [4], iç mekan takip araştırmaları teknolojik ilerlemelerden dolayı gelişme gösteren bir alandır. İç mekan takip sistemleri insanları, ekipmanları [5], [6] ve iç mekan çevre kalitesini izlemek için kullanılabilir. Bu sistemlerde IoT, bluetooth, ultra geniş bant ve pasif kızılötesi gibi örnekleme hızları, doğruluk seviyeleri ve bilgi dereceleri varyasyon gösteren farklı sensör teknolojileri kullanılmaktadır [6]. Bu sistemlerden toplanan takip verileri, mekansal dinamikleri ve enerji tüketim örüntülerini tahmin etmek için kullanılabilir olduğundan [6], bu bilgiler doğrultusunda stratejiler oluşturmak mümkündür. İnsan takip verileri sağlık izleme, tüketici davranışlarını analiz etme, operasyonel verimliliği artırma ve çocuklardaki gelişimsel davranışları anlama gibi alanlarda kullanılmıştır. Bu verilerin ana çıktısı, insanların davranışsal kalıplarını ve hareketlerini anlamak için kullanılan mekansal-zamansal veridir. Örneğin, hız ve yürüme mesafesi verileri fiziksel aktivite seviyelerini gösterebilmektedir. Benzer şekilde, diğer insanlara yakınlık verileri sosyal etkileşimi ortaya çıkarabilmektedir [6]. Ekipmanla ilgili takip verileri, varlık yönetimi, maliyet kontrolü, önleyici ve öngörücü bakım programlama [7] ve operasyonel optimizasyon gibi alanlarda operasyonel verimliliği artırmak için kullanışlıdır. İç mekan çevresel kalite hakkındaki takip verileri ise, iç mekanın sağlıklı ve konforlu olmasına yardımcı olabilmektedir [8]. İç mekan çevre kalitesi, iç hava kalitesinin, termal konforun, akustik konforun ve görsel konforun değerlendirilmesini içermektedir [9], [10]. Bibliyometri, çeşitli yasalar ve metodolojilerle yayın örüntülerini analiz etmek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir [11]. Bu çalışma, insanlar, ekipmanlar, iç mekan, bina performansı ve oturan konforu bağlamında takip kavramlarının en son durumunu belirlemek için bibliyometrik analiz yöntemini kullanmaktadır.

## 2. YÖNTEM

TAKİP (TRACKING) kavramıyla ilgili küresel literatür, insanlar, kapalı alan, ekipman, bina performansı ve kullanıcı konforu bağlamında geniş bir dizi dergiyi kapsayan Web of Science (WOS) veri tabanında taranmıştır [12]. WOS veri tabanının filtreleme ve dışa aktarma araçları kullanılarak veri seti 2014-2023 yılları arasında İngilizce dilinde yazılmış, Mimarlık ve Mühendislik alanlarındaki makaleler ile sınırlandırılmış olup bu çalışma en fazla atıf alan 100 makaleye odaklanmıştır. Uygulanan yöntemin ayrıntıları **Şekil 1**'de belirtilmiştir. Bu makalelerin başlık, yazar, özet, kaynak, tarih, anahtar kelimeler, atıf bilgileri ve diğer ilgili meta verilerine yönelik tam kayıt, düz metin formatında dışa aktarılmıştır. Veriler 28 Şubat 2024 tarihinde alınmıştır. Bu makalelerin anahtar kelimeler, kuruluşlar, kaynaklar ve ülkeler arasındaki ilişkiyi görselleştirmek için van Eck ve Waltmann [13] tarafından geliştirilen Vos Viewer (sürüm 1.6.18) yazılımı kullanılmıştır. Veri türü bibliyometrik veri olup veri kaynağı bibliyometrik veri tabanı dosyalarıdır. WOS'tan dışa aktarılan dosyalar analiz ve görselleştirme için kullanılmaktadır. Ağırlıklar, analiz birimi tarafından belirlenmiş olup yalnızca bağlantılı öğeler bibliyometrik haritalama görselleştirmelerine dahil edilmiştir.



**Şekil 1.** Araştırmanın Yöntemi

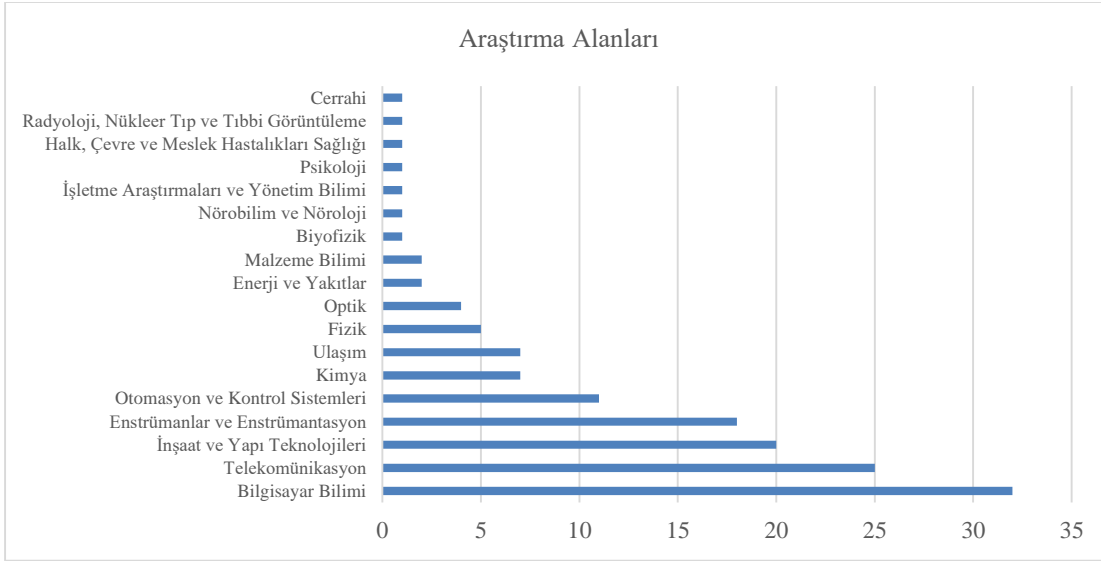
### 3. BULGULAR

Bu bölüm, en çok atıf alan 100 makalenin araştırma alanları ve konuları, anahtar kelimeleri, kuruluşları, kaynakları ve ülkeleri açısından değerlendirilmesini içermektedir.

#### 3.1. Araştırma Alanları ve Konuları

En çok atıf alan 100 makalenin araştırma alanları incelendiğinde tamamının mühendislik alanları kapsamına girdiği tespit edilmiştir. **Şekil 2**'de görüldüğü gibi bilgisayar bilimi, telekomünikasyon ve inşaat ve yapı teknolojileri, enstrümanlar ve enstrümantasyon ve otomasyon ve kontrol sistemleri alanları yoğun çalışılan alanlardır. Bu alanlardaki çalışmalar veri grubunun sırasıyla, %31, %25, %20, %18 ve %11'ini oluşturmaktadır. Veri grubunun %10'undan daha azını

oluşturan alanlar arasında ise kimya, ulaşım, fizik, optik, enerji ve yakıtlar, malzeme bilimi, biyofizik, nörobilim ve nöroloji, işletme araştırmaları ve yönetim bilimi, psikoloji, halk, çevre ve meslek hastalıkları sağlığı, radyoloji, nükleer tıp ve tıbbi görüntüleme ve cerrahi yer almaktadır.



**Şekil 2.** En çok atıf alan 100 makalenin araştırma alanları

İnşaat ve yapı teknolojileri alanındaki çalışmalar içerikleri bakımından güvenlik ve sağlık yönetimi, inşaat sahası planlama ve yönetimi, konumlama ve takip sistemleri ve diğer çalışmalar biçiminde 4 kategoride değerlendirilebilir.

İnşaat sektöründeki güvenlik ve sağlık uygulamalarını geliştirmeye yönelik birçok çalışma bulunmaktadır. Teizer ve Cheng [14] sensör verilerini ve gerçek zamanlı konum takibini kullanarak işçilerin tehlikelere yakınlığı ile hareketli ve hareketsiz tehlikeleri tanımlayan bir yöntem sunmuşlardır. Güvenlik takibi ve planlama konusunda içgörüler içeren yöntemin uygulanabilirliği ve etkinliği, sahada yapılan bazı deneylerle doğrulanmıştır. Golovina ve arkadaşları [15] ise işçiler ile ağır ekipman arasındaki tehlikeli yakınlık durumlarını tespit ederek güvenlik performansını değerlendiren bir analiz yöntemi geliştirmişlerdir. Bu yöntem GPS verilerinin kullanılması, tehlike endeksinin hesaplanarak ısı haritalarıyla görselleştirilmesi, ve kişisel güvenlik raporları oluşturularak bunların bina bilgi modellerine entegre edilmesi aşamalarını içermektedir. Hasanzadeh ve arkadaşları [16] göz takip teknolojisi kullanarak inşaat sahalarında işçilerin tehlike tanıma becerileri ile göz hareketi örüntüleri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. İncelemeleri, daha yüksek tehlike tanıma becerilerine sahip işçiler arasında belirgin görsel arama stratejileri olduğunu ortaya koymuştur. C. Zhou ve Ding [17] ise yeraltı inşaatları için IoT tabanlı bir güvenlik sistemi sunmuşlardır. Bu sistem RFID, ultrasonik algılama ve kızılötesi erişim teknolojilerinin üç katmanlı bir ağda kullanılarak tehlikelerin analiz edilmesi ve güvenlik engellerinin uygulanmasından oluşmaktadır. Yangtze Nehri geçiş metro tünel inşaatı sahasında test edilen sistem, sahadaki güvenlik performansında iyileştirme göstermiştir. Bu çalışmalara ek olarak sahada kullanılan takip teknolojilerinin işçi tarafından benimsenmesi veya işçi davranışı üzerine etkileri de araştırılmıştır. Choi ve arkadaşları [18], işçilerin akıllı yepek ve bileklik üzerinden giyilebilir teknolojiyi benimseme sürecini araştırmışlardır. Benimseme motivasyonunu etkileyen temel faktörlerin

algılanan fayda, sosyal etki, gizlilik riski ve geçmiş deneyimler olduğunu ortaya koymuşlardır. Y. Shi ve arkadaşları [19] sanal gerçeklik (VR) sistemi kullanarak pozitif ve negatif pekiştirmenin inşaat işçilerinin güvenlik davranışları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda pozitif pekiştirmenin daha güvenli davranışlara teşvik ettiği, negatif pekiştirmenin ise inşaat işçilerinin eylem hızlarını arttırdığı, düzensiz hareket etmelerine neden olduğu ve hata yapmaları ihtimalini artırdığı ortaya çıkmıştır. J. Li ve arkadaşları [20], [21] inşaat sahalarında zihinsel yorgunluğu tanımlamak ve sınıflandırmak için göz takip teknolojisinin kullanımı üzerine çalışmışlardır. Ekskavatör işletme simülasyonları sırasında TICC yöntemi ve SVM gibi denetimli öğrenme algoritmaları kullanarak yaptıkları sınıflandırmalar %79,5 ile %85,0 arasında doğruluk göstermiştir.

Takip teknolojilerinin inşaat sahası planlama ve yönetiminde kullanımına yönelik çalışmalardan, Montaser ve Moselhi [22] işçilerin ve malzemelerin konumunu belirlemek için düşük maliyetli RFID konum belirleme sistemi geliştirmişlerdir. Pasif RFID etiketleri sahada referans noktaları olarak kullanılmak üzere yerleştirilmektedir. İşçilerin ve malzemelerin konumları işçilerin taşıdıkları mobil RFID okuyucular ile referans noktalar baz alınarak belirlenmektedir. S. Zhang ve arkadaşları [23] ise GPS veri kaydedicileri ve Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) entegrasyonu ile işçilerin sahadaki konumlarını takip etmek için yaklaşım oluşturmuşlardır. Çalışmada çeşitli algoritmalar kullanılarak faaliyet özel çalışma parametreleri oluşturulmaktadır. Bunlar BIM platformunda görselleştirilerek yoğun çalışma alanları belirlenmektedir. Fang ve arkadaşları [24] ise BIM ve bulut tabanlı RFID konumlandırma sistemi ile inşaat kaynaklarının iç mekanda izlenmesine yönelik bir çalışma yapmışlardır. Sahada test ettikleri gerçek zamanlı bu sistem pasif RFID konumlandırma, BIM görselleştirme ve bulut bilişim bileşenlerinden oluşmaktadır. Hamledari ve arkadaşları [25], inşaat sahasında iç mekan bölücülerinin durumunu otomatik olarak algılamak ve kategorize etmek için 2 boyutlu dijital görüntülerin kullanıldığı bilgisayar görüşüne dayalı bir algoritma sunmaktadırlar. Algoritma, şekil ve renge dayalı olarak dikmeler, yalıtım elemanları, elektrik prizleri ve alçı paneller olmak üzere dört yapı elemanının durum tespitini sağlamaktadır. Bu veri setinde dışında olup, iç mekan konum belirleme bağlamında öne çıkan araştırmalardan biri olan Topak ve arkadaşlarının [26] çalışması, Bluetooth Low Energy (BLE) teknolojisinin iç mekan konumlandırma bağlamındaki potansiyellerine odaklanmıştır. Çalışmada, BLE tabanlı bir iç mekan konumlandırma yöntemi oluşturmak için kapsamlı bir analiz yapılarak, insan vücudu yönelimi, veri toplama noktaları, gerçek zamanlı RSSI örnekleri ve parmak takibi yaklaşımları gibi önceden belirlenmiş kılavuz parametrelerine dayanan bir BLE değerlendirmesi yapılmıştır. Bir araştırma merkezi binasında gerçekleştirilen saha deneyleri ile BLE'nin iç mekan konum belirlemede mevcut yaklaşımlara kıyasla gelişmiş doğruluk ve hassasiyet sunduğu tespit edilmiştir.

Roberts ve Golparvar-Fard [27], Cheng ve arkadaşları [28], Luo ve arkadaşları [29] ve Kim ve arkadaşları [30] ise farklı yöntemlerle inşaat ekipmanlarının faaliyetlerinin takibi ve analizi için sistemler geliştirmişlerdir. Roberts ve Golparvar-Fard [27] görüşe dayalı yöntemleri doğrulamak için 10 adet etiketlenmiş videodan oluşan bir ölçüt veri seti önermişlerdir. Bu veri setine ek olarak nesne tespiti ve takibi için derin öğrenme tabanlı bir yöntem oluşturmuşlardır. Cheng ve arkadaşları [28] ise ses tabanlı sistem yaratarak, ekipman görevlerini belirli seslerle ilişkilendirmişlerdir. Oluşan ses örüntüleri makine öğrenimini kullanarak sınıflandırılmıştır. Bu yöntem çeşitli vaka çalışmalarında doğru tanımlama becerisi göstermiştir. Luo ve arkadaşları [29] bilgisayar görüşü ve derin öğrenme tekniklerini kullanarak inşaat ekipmanı pozisyonlarını otomatik olarak tahmin etmek için bir yöntem oluşturmuşlardır. Yöntem, ekipmanlar üzerinde anahtar noktaları tanımlanması ve

gözetleme kameralarının derin öğrenme ağları ile etiketlenerek kamera görüntüleri ile eğitilmesinden oluşmaktadır. Elde edilen sonuçlar, sistemin hızlı bir biçimde doğru poz tahmini yaptığını göstermiştir. Kim ve arkadaşları [30] ise, toprak taşıma işlemlerinde faaliyet analizi için bir görüşe dayalı sistem oluşturmuşlardır. Faaliyet analizi için ekipman takibi, eylem tanıma ve etkileşim analizi ile sağlanmaktadır.

Yapılan diğer çalışmalar içerikleri bakımından geniş bir spektrum göstermektedir. Örneğin, Shih [31], binaların sürekli izlenmesi için geliştirdiği sistemle, görüntü tabanlı derinlik sensörü ve programlanabilir pan-tilt-zoom (PTZ) kamerasını bir araya getirdiği bir çözüm sunmuştur. Bir başka çalışmada, J. Yin ve arkadaşları [32], VR simülasyonları kullanarak farklı ofis alanı düzenlemelerinin insan sağlığı ve üretkenliği üzerindeki etkisini araştırmışlardır. İç mekan çevre kalitesi bağlamında Y. Zhou ve ekibi [33], iç mekan ortamlarında partikül dağılımını incelemek amacıyla havalandırma ve ısıtma sistemlerini analiz etmişlerdir. Prussin ve ekibi [34] ise Legionella bakterisinin binalardaki yayılması üzerine bir araştırma yaparak, Legionella ve Pontiac ateşi gibi hastalıkların nedenlerini vurgulamışlardır.

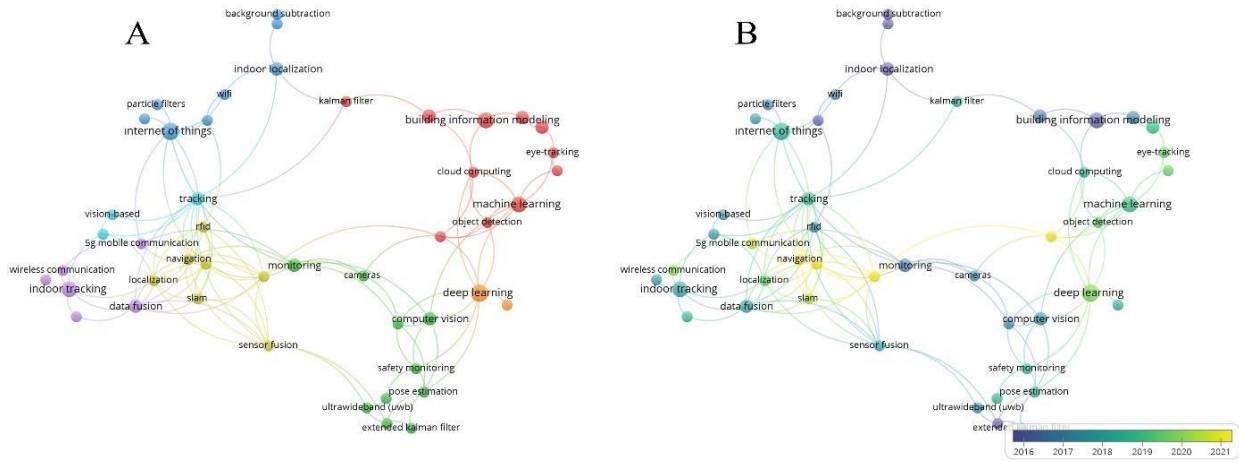
### 3.2. Anahtar Kelimeler

Yazar anahtar kelimeleri birimi üzerinden eş-görülme analizi yapılmıştır. Bu analizlerdeki öğelerin ilişkisi, belgelerde birlikte ne sıklıkta bulduklarına dayanarak belirlenmiştir. Analiz için toplam öğelerin toplam 533 anahtar kelime kullanılmıştır. Anahtar kelime bulunma eşiği 2 olarak belirlenmiştir. 51 anahtar kelime eşiği karşılarken, birbiriyle bağlantılı olmayan 4 öğe görselleştirmeye dahil edilmemiştir.

Eş-görülme analizine göre, **Şekil 3 (A)**'de verildiği gibi, her biri bağlı anahtar kelime setlerine sahip toplam 47 öğe, 117 bağlantı ve toplam bağlantı gücü 118 olan yedi küme bulunmaktadır. Kırmızı küme, inşaat sektöründe kullanılan, takip ve sanal gerçeklikle ilgili teknolojilere ve yöntemlere yönelik anahtar kelimeler içermektedir. Yeşil kümede, bilgisayar görüşü ve sensör teknolojileri etrafında şekillen kavramlar yoğunluktadır. Mavi, turuncu ve sarı küme iç mekan konumlandırma, navigasyon ve IoT ile ilişkili teknolojilere vurgu yapmaktadır. Mor küme iletişim teknolojilerine ve veri füzyonuna yönelik anahtar kelimeler bulundurmaktadır. Turkuaz küme algılama ve takip yöntemleri etrafında şekillenmektedir. **Şekil 3 (B)**'de, yıllara göre popülerliklerini temsil eden mordan sarıya kadar yazar anahtar kelime ağ haritası gösterilmektedir. Buna göre, bu konuların taranan yıllar arasında yaygın olarak incelendiği görülmektedir. En güncel anahtar kelimeler navigasyon, eş zamanlı konum belirleme ve 5G mobil iletişimidir.

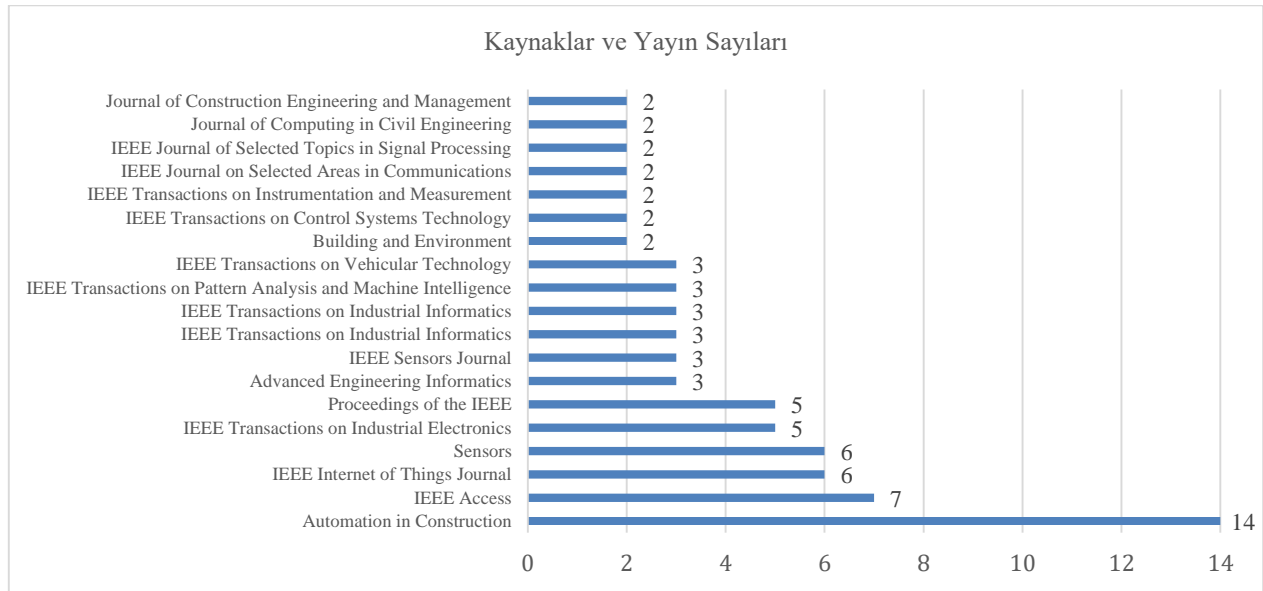
### 3.3. Yayınların Kaynakları

En çok atıf alan 100 makalenin yayınlandığı 47 kaynak bulunmaktadır. Bu kaynakların minimum 67 atıfı bulunmaktadır. Bu kaynaklardan en aktif olanı bu veri setinin %14'ünü oluşturarak Automation in Construction'dur. IEEE Access, IEEE Internet of Things Journal, Sensors, IEEE Transactions on Industrial Electronics ve Proceedings of the IEEE toplamda veri grubunun %29'unu içeren kaynaklardır. Kaynak dağılımın detayları **Şekil 4**'te verilmiştir. Bunlardan yalnızca 1 makalesi bulunan kaynaklar (Applied Energy, Applied Sciences-Basel, Computer Networks,



Şekil 3. Anahtar Kelimelerin analizi: (A) ağ görselleştirmesi, (B) örtüşme görselleştirmesi.

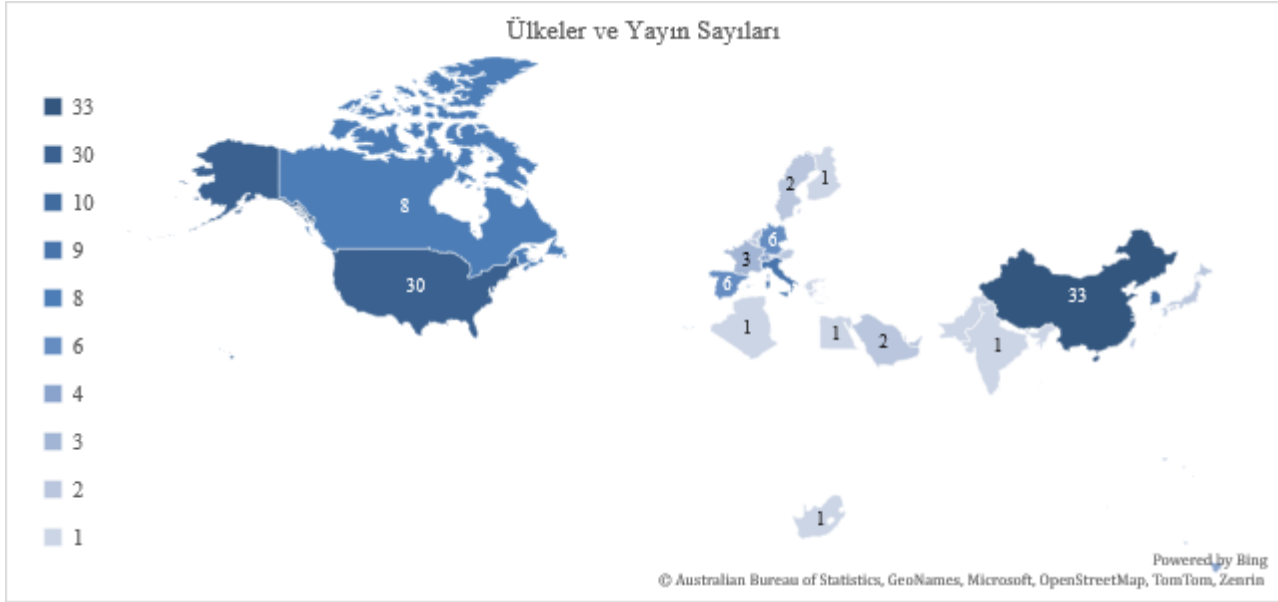
Computer Vision and Image Understanding, Displays, Energy And Buildings, Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking, Expert Systems with Applications, IEEE Journal of Solid-State Circuits, IEEE Open Journal of Signal Processing, IEEE Pervasive Computing, IEEE Photonics Journal, IEEE Transactions on Circuits And Systems For Video Technology, IEEE Transactions on Communications, IEEE Transactions on Industry Applications, IET Radar Sonar and Navigation, Image and Vision Computing, Indoor Air, International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, International Journal of Human-Computer Studies, ISA Transactions, Journal of Biomechanical Engineering-Transactions of the ASME, Journal of Lightwave Technology, Journal of Neural Engineering, Nature Electronics, Particuology, Pattern Recognition, Transportation) görselleştirmeye dahil edilmemiştir.



Şekil 4. Kaynaklar ve Yayın Sayıları

### 3.4. Yayınların Ülkeleri

En çok atıf alan 100 makaleye katkıda bulunan 30 ülke bulunmaktadır. Bu ülkeler Çin Halk Cumhuriyeti, Amerika Birleşik Devletleri, Güney Kore, İtalya, Kanada, Almanya, İspanya, Avustralya, Singapur, İsviçre, Fransa, Tayvan, Avusturya, Belçika, İngiltere, Japonya, Hollanda, Saudi Arabistan, İsveç, Birleşik Arap Emirlikleri, Cezayir, Çek Cumhuriyeti, Mısır, Finlandiya, Yunanistan, Pakistan, Katar, İskoçya, Güney Afrika ve Hindistan'dır. Veri setinin sırasıyla %33 ve %30'unu oluşturmaları nedeniyle en aktif ülkelerin Çin Halk Cumhuriyeti ve Amerika Birleşik Devletleri olduğu söylenebilir. Şekil 5'de ülkeler ve yayın sayıları verilmiştir.



Şekil 5. Ülkeler ve Yayın Sayıları

## 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada insan, kapalı alan, ekipman, bina performansı ve kullanıcı konforu kavramları bağlamında takip kavramlarını çevreleyen mevcut literatürde en çok atıf alan 100 makale ele alınmıştır. Bu makalelerin 32 tanesi bilgisayar bilimi, 25 tanesi telekomünikasyon, 20 tanesi inşaat ve yapı teknolojileri, 18 tanesi enstrümanlar ve enstrümantasyon ve 11 tanesi otomasyon ve kontrol alanındadır. İnşaat ve yapı teknolojileri alanında yapılan çalışmalar güvenlik ve sağlık yönetimi, inşaat sahası planlama ve yönetimi, konumlama ve takip sistemleri gibi konulara yoğunlaşmıştır. Yapılan anahtar kelime analizi takip teknolojilerinin farklı alanlarını temsil eden birçok küme ortaya çıkarmıştır. Bu kümeler inşaat sektöründe kullanılan takip ve sanal gerçeklikle ilgili teknolojiler, bilgisayar görüşü ve sensor teknolojileri, mekan konumlandırma, navigasyon ve IoT ile ilişkili teknolojiler, iletişim teknolojileri ve veri füzyonu ve küme algılama ve takip yöntemleri etrafında şekillenmiştir. Veri grubunda yer alan 100 makalenin yayınlandığı kaynaklar incelendiğinde 47 kaynak tespit edilmiştir. Bu kaynaklardan en aktif olanı bu veri setinin %14'ünü oluşturarak Automation in Construction'dur. IEEE Access, IEEE Internet of Things Journal, Sensors, IEEE Transactions on Industrial Electronics ve Proceedings of the IEEE toplamda veri

grubunun %29'unu içeren kaynaklardır. Bu makalelerin ülkeleri incelendiğinde ise tespit edilen 30 ülkeden veri setinin sırasıyla %33 ve %30'unu oluşturmaları nedeniyle en aktif ülkeler Çin Halk Cumhuriyeti ve Amerika Birleşik Devletleri'dir. Takip alanında insan, mekan, ekipman, bina performansı ve kullanıcı konforu bağlamındaki mevcut literatürde yer alan son on yılda en çok atıf alan 100 makalenin araştırma alanları, kuruluşları, kaynakları ve ülkeleri, inşaat ve yapı teknolojileri alanındaki makalelerin içerikleri bakımından genel bir bakış ortaya konarak literatüre katkıda bulunulmuştur.

## KAYNAKLAR

1. X. Cao, X. Dai, ve J. Liu, "Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade", *Energy Build*, c. 128, ss. 198-213, Eyl. 2016, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.06.089.
2. J. Heerwagen, "Green buildings, organizational success and occupant productivity", *Building Research & Information*, c. 28, sy 5-6, ss. 353-367, Eyl. 2000, doi: 10.1080/096132100418500.
3. W. L. Paul ve P. A. Taylor, "A comparison of occupant comfort and satisfaction between a green building and a conventional building", *Build Environ*, c. 43, sy 11, ss. 1858-1870, Kas. 2008, doi: 10.1016/j.buildenv.2007.11.006.
4. D. Dardari, P. Closas, ve P. M. Djuric, "Indoor Tracking: Theory, Methods, and Technologies", *IEEE Trans Veh Technol*, c. 64, sy 4, ss. 1263-1278, Nis. 2015, doi: 10.1109/TVT.2015.2403868.
5. M. N. Kamel Boulos ve G. Berry, "Real-time locating systems (RTLS) in healthcare: a condensed primer", *Int J Health Geogr*, c. 11, sy 1, s. 25, Haz. 2012, doi: 10.1186/1476-072X-11-25.
6. L. C. Shum vd., "Indoor Location Data for Tracking Human Behaviours: A Scoping Review", *Sensors*, c. 22, sy 3, s. 1220, Şub. 2022, doi: 10.3390/s22031220.
7. N. M. Paz ve W. Leigh, "Maintenance Scheduling: Issues, Results and Research Needs", *International Journal of Operations & Production Management*, c. 14, sy 8, ss. 47-69, Ağu. 1994, doi: 10.1108/01443579410067135.
8. V. V. Sakhare ve R. V. Ralegaonkar, "Indoor environmental quality: review of parameters and assessment models", *Archit Sci Rev*, c. 57, sy 2, ss. 147-154, Nis. 2014, doi: 10.1080/00038628.2013.862609.
- I. Sarbu ve C. Sebarchievici, "Aspects of indoor environmental quality assessment in buildings", *Energy Build*, c. 60, ss. 410-419, May. 2013, doi: 10.1016/j.enbuild.2013.02.005.
9. M. A. Sulaiman, W. Z. W. Yusoff, S. Pawi, ve W. N. W. Kamarudin, "Indoor Environmental Quality (IEQ) of Higher Education Institutions (HEIs): A User Perception Survey", *Journal of Clean Energy Technologies*, c. 1, sy 4, ss. 318-321, 2013, doi: 10.7763/JOCET.2013.V1.72.
10. M. K. McBurney ve P. L. Novak, "What is bibliometrics and why should you care?", içinde *Proceedings. IEEE International Professional Communication Conference*, IEEE, 2002, ss. 108-114. doi: 10.1109/IPCC.2002.1049094.
11. P. Mongeon ve A. Paul-Hus, "The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis", *Scientometrics*, c. 106, sy 1, ss. 213-228, Oca. 2016, doi: 10.1007/s11192-015-1765-5.
12. N. J. van Eck ve L. Waltman, "Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping", *Scientometrics*, c. 84, sy 2, ss. 523-538, Ağu. 2010, doi: 10.1007/s11192-009-0146-3.



13. J. Teizer ve T. Cheng, "Proximity hazard indicator for workers-on-foot near miss interactions with construction equipment and geo-referenced hazard areas", *Autom Constr*, c. 60, ss. 58-73, Ara. 2015, doi: 10.1016/j.autcon.2015.09.003.
- . Golovina, J. Teizer, ve N. Pradhananga, "Heat map generation for predictive safety planning: Preventing struck-by and near miss interactions between workers-on-foot and construction equipment", *Autom Constr*, c. 71, ss. 99-115, Kas. 2016, doi: 10.1016/j.autcon.2016.03.008.
14. S. Hasanzadeh, B. Esmacili, ve M. D. Dodd, "Impact of Construction Workers' Hazard Identification Skills on Their Visual Attention", *J Constr Eng Manag*, c. 143, sy 10, Eki. 2017, doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001373.
15. C. Zhou ve L. Y. Ding, "Safety barrier warning system for underground construction sites using Internet-of-Things technologies", *Autom Constr*, c. 83, ss. 372-389, Kas. 2017, doi: 10.1016/j.autcon.2017.07.005.
16. B. Choi, S. Hwang, ve S. Lee, "What drives construction workers' acceptance of wearable technologies in the workplace?: Indoor localization and wearable health devices for occupational safety and health", *Autom Constr*, c. 84, ss. 31-41, Ara. 2017, doi: 10.1016/j.autcon.2017.08.005.
17. Y. Shi, J. Du, C. R. Ahn, ve E. Ragan, "Impact assessment of reinforced learning methods on construction workers' fall risk behavior using virtual reality", *Autom Constr*, c. 104, ss. 197-214, Ağu. 2019, doi: 10.1016/j.autcon.2019.04.015.
18. J. Li, H. Li, H. Wang, W. Umer, H. Fu, ve X. Xing, "Evaluating the impact of mental fatigue on construction equipment operators' ability to detect hazards using wearable eye-tracking technology", *Autom Constr*, c. 105, s. 102835, Eyl. 2019, doi: 10.1016/j.autcon.2019.102835.
19. J. Li *vd.*, "Identification and classification of construction equipment operators' mental fatigue using wearable eye-tracking technology", *Autom Constr*, c. 109, s. 103000, Oca. 2020, doi: 10.1016/j.autcon.2019.103000.
- A. Montaser ve O. Moselhi, "RFID indoor location identification for construction projects", *Autom Constr*, c. 39, ss. 167-179, Nis. 2014, doi: 10.1016/j.autcon.2013.06.012.
20. S. Zhang, J. Teizer, N. Pradhananga, ve C. M. Eastman, "Workforce location tracking to model, visualize and analyze workspace requirements in building information models for construction safety planning", *Autom Constr*, c. 60, ss. 74-86, Ara. 2015, doi: 10.1016/j.autcon.2015.09.009.
21. Y. Fang, Y. K. Cho, S. Zhang, ve E. Perez, "Case Study of BIM and Cloud-Enabled Real-Time RFID Indoor Localization for Construction Management Applications", *J Constr Eng Manag*, c. 142, sy 7, Tem. 2016, doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001125.
22. H. Hamledari, B. McCabe, ve S. Davari, "Automated computer vision-based detection of components of under-construction indoor partitions", *Autom Constr*, c. 74, ss. 78-94, Şub. 2017, doi: 10.1016/j.autcon.2016.11.009.
23. F. Topak, M. K. Pekerçli, ve A. M. Tanyer, "Technological Viability Assessment of Bluetooth Low Energy Technology for Indoor Localization", *Journal of Computing in Civil Engineering*, c. 32, sy 5, Eyl. 2018, doi: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000778.
24. D. Roberts ve M. Golparvar-Fard, "End-to-end vision-based detection, tracking and activity analysis of earthmoving equipment filmed at ground level", *Autom Constr*, c. 105, s. 102811, Eyl. 2019, doi: 10.1016/j.autcon.2019.04.006.
25. C.-F. Cheng, A. Rashidi, M. A. Davenport, ve D. V. Anderson, "Activity analysis of construction equipment using audio signals and support vector machines", *Autom Constr*, c. 81, ss. 240-253, Eyl. 2017, doi: 10.1016/j.autcon.2017.06.005.

26. H. Luo, M. Wang, P. K.-Y. Wong, ve J. C. P. Cheng, "Full body pose estimation of construction equipment using computer vision and deep learning techniques", *Autom Constr*, c. 110, s. 103016, Şub. 2020, doi: 10.1016/j.autcon.2019.103016.
27. J. Kim, S. Chi, ve J. Seo, "Interaction analysis for vision-based activity identification of earthmoving excavators and dump trucks", *Autom Constr*, c. 87, ss. 297-308, Mar. 2018, doi: 10.1016/j.autcon.2017.12.016.
28. H.-C. Shih, "A robust occupancy detection and tracking algorithm for the automatic monitoring and commissioning of a building", *Energy Build*, c. 77, ss. 270-280, Tem. 2014, doi: 10.1016/j.enbuild.2014.03.069.
29. J. Yin, N. Arfaei, P. MacNaughton, P. J. Catalano, J. G. Allen, ve J. D. Spengler, "Effects of biophilic interventions in office on stress reaction and cognitive function: A randomized crossover study in virtual reality", *Indoor Air*, c. 29, sy 6, ss. 1028-1039, Kas. 2019, doi: 10.1111/ina.12593.
30. Y. Zhou, Y. Deng, P. Wu, ve S.-J. Cao, "The effects of ventilation and floor heating systems on the dispersion and deposition of fine particles in an enclosed environment", *Build Environ*, c. 125, ss. 192-205, Kas. 2017, doi: 10.1016/j.buildenv.2017.08.049.
- A. J. Prussin, D. O. Schwake, ve L. C. Marr, "Ten questions concerning the aerosolization and transmission of Legionella in the built environment", *Build Environ*, c. 123, ss. 684-695, Eki. 2017, doi: 10.1016/j.buildenv.2017.06.024.

## **ENERJİ ETKİN YERLEŞME VE BİNA TASARIMINDA YAPILAŞMA ŞARTLARININ ETKİSİ**

Seren Adaloğlu<sup>1</sup>  
Şule Filiz Akşit<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> İTÜ Mimarlık Fakültesi, Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

### **ÖZET**

*Binalar, iklim değiştiriciler olarak tanımlanır. Binalar, yerleşme tasarımıyla birlikte dış iklime ilişkin değişkenleri işleyerek iç iklime ilişkin koşulları oluşturur. İç iklime ilişkin bu koşulların, enerji etkin yerleşme ve bina tasarımıyla kullanıcı için konfor koşullarının sağlaması beklenmektedir. Bu amaç doğrultusunda, çok aşamalı olan ve multidisipliner bir yaklaşımla yürütülen yerleşme ve bina tasarım sürecinin, yasal çerçeveler içerisinde koordineli bir şekilde birbirlerini takip etmesi beklenmektedir. Bu çalışma kapsamında, bu beklentinin önemini vurgulamak amacıyla şehir ve bölge planlama disiplininin mimarlık disiplinine geçişin belirgin olduğu, Türkiye’de şehir ve bölge planlama sürecinin sonuç ürünü olan yapılaşma şartlarının belirlendiği aşamaya odaklanılmaktadır. Türkiye’de yer alan iklim bölgelerinden ılımlı-nemli iklim bölgesini temsil eden İstanbul’da yer alan yerleşme için farklı yapılaşma şartları etkisinde farklı yerleşme dokusu seçenekleri oluşturulmuştur. Oluşturulan yerleşme dokusu seçeneklerinin enerji etkinliğini karşılaştırmak için Design Builder adlı enerji simülasyonu programında seçenekler modellenerek ısıtma ve soğutma yükleri hesaplanmıştır. Çalışmanın sonucunda; kat sayısı artıkça soğutma yükünün arttığı, ısıtma yükünün ve toplam enerji yükünün azaldığı görülmüştür. Emsal artıkça ise soğutma yükü azalmakta, ısıtma yükü ve toplam enerji yükü artmaktadır. Kat sayısının değiştiği durumlardaki yük değişiminin, emsal değiştiği durumlardaki yük değişiminden daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durumda enerji etkinliği üzerinde kat sayısının, emsalden daha etkili bir yapılaşma şartı olduğu söylenebilir.*

*Anahtar sözcükler: Enerji Etkin Tasarım, Yapılaşma Şartları, Yerleşme Dokusu, Enerji Yükü*

### **ABSTRACT**

*Buildings are defined as structures that modify the climate. Together with the settlement design, they process external climate variables and create conditions for the internal climate. The internal climate conditions are expected to provide comfortable conditions for the user through energy-efficient settlement and building design. To ensure coordination within legal frameworks, the settlement and building design process should follow a multi-stage, multidisciplinary approach. This study focuses on the stage where the transition from urban and regional planning to architecture is evident. This stage determines the construction conditions, which are the end product of the urban and regional planning process in Turkey. Different settlement texture options were created for the settlement located in the Istanbul region, which represents the temperate-humid climate zone, based on different construction conditions. The energy efficiency of these options was compared by modeling them in the energy simulation program called Design Builder and calculating their heating-cooling loads. When simulation results are examined, it is observed that the energy consumption decreases with an increase in the number of floors and increases with a higher total construction area. Furthermore, the change in energy load when the number of floors is altered is more significant than the change when the total construction area is altered. From this, it is understood that the number of floors is a more effective construction condition for energy efficiency than the total construction area.*

*Key words: Energy Efficient Design, Construction Conditions, Settlement Pattern, Energy Consumption*

<sup>1</sup> e-posta adresi: saltali@itu.edu.tr

<sup>2</sup> e-posta adresi: aksitf@itu.edu.tr

## 1.GİRİŞ

Çevresel sürdürülebilirliğin temelini oluşturan enerji etkinliği, günümüz dünyasında hem çevresel hem de ekonomik açıdan kritik öneme sahiptir. Bu durum, yüksek verimli ve sağlıklı yapma çevre oluşturmak amacıyla yerleşme ve bina tasarımında da öncelikli hedef olarak kabul edilmektedir. Yerleşme ve bina tasarım sürecinde, tasarım değişkenlerinin bu hedefe yönelik olarak belirlenmesi gerekmektedir. Ancak, bu hedefe ulaşmada karşılaşılan en büyük zorluklardan biri, tasarım sürecinin çok katmanlı ve multidisipliner olması, ayrıca ilk aşamalarda yasal sınırlar belirlenirken tasarım değişkenleri üzerindeki etkisinin enerji etkinliği perspektifiyle bütünleşik bir şekilde ele alınmamasıdır.

Yerleşme ve bina tasarımı süreci, şehir ve bölge planlama aşamasıyla başlamaktadır. Tasarım sürecinin diğer aşamalarında olduğu gibi bu aşamada da enerji etkin tasarım yapmak veya yapmamak karar vericilerin inisiyatifine bırakılmaktadır. Ancak özellikle bu aşamada enerji etkinliğini dikkate alacak şekilde yerleşme ve bina tasarımı yapmak bu konuda büyük bir fark yaratabilmektedir. Bu çalışmada, şehir ve bölge planlama aşamasının sonuç ürünü olan yapılaşma şartlarının farklılaşması durumunda farklı yerleşme dokusu seçenekleri oluşturulmuştur. Yerleşme dokusu seçenekleri, Türkiye’de yer alan iklim bölgelerinden olan ılımlı-nemli iklim bölgesini temsil eden İstanbul için tasarlanarak Design Builder programı ile simüle edilmiş ve ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri hesaplanmıştır. Hesap sonuçlarının karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesiyle; yapılaşma şartlarının enerji etkin yerleşme ve bina tasarım süreçlerindeki etkilerini ortaya koymak ve bu alanda karar vericilere enerji etkin tasarımı yönlendirecek stratejiler geliştirmeleri için bilgi sağlamak mümkün olacaktır.

## 2. ENERJİ ETKİN YERLEŞME VE BİNA TASARIMINDA ETKİLİ OLAN DEĞİŞKENLER VE TÜRKİYE’DE ŞEHİR VE BÖLGE PLANLAMADA YAPILAŞMA ŞARTLARI

Enerji etkin yerleşme ve bina tasarımında yapılaşma şartlarının etkisinin incelenmesi için öncelikle enerji etkin yerleşme ve bina tasarımında etkili olan değişkenler, sonrasında ise Türkiye’de şehir ve bölge planlamada yapılaşma şartları açıklanmıştır.

### 2.1. Enerji Etkin Yerleşme ve Bina Tasarımında Etkili Olan Değişkenler

Enerji etkin yerleşme ve bina tasarımında etkili olan değişkenler; iklime ilişkin değişkenler, kullanıcıya ilişkin değişkenler ve yerleşme ve binaya ilişkin değişkenler olarak 3 grupta incelenebilir.

**İklime ilişkin değişkenler;** dış iklime ve iç iklime ilişkin değişkenler diye ikiye ayrılmaktadır. Dış iklime ilişkin değişkenler; güneş ışınımı, dış hava sıcaklığı, dış hava nemliliği ve dış hava hareketi (rüzgar) dir. İç iklime ilişkin değişkenler ise iç hava sıcaklığı, iç yüzey sıcaklığı, iç hava nemi ve iç hava hareketidir.

**Kullanıcıya ilişkin değişkenler;** giysi türü, metabolizma düzeyi ve insanın mekandaki konumu ve duruş şekli olarak incelenmektedir.

**Yerleşmeye ilişkin değişkenler;** yerleşmenin çevresine ait arazi kullanımı (konut alanları, ticari alanlar, sanayi alanları, yeşil alanlar, sosyal ve teknik alanlar vb.) ve jeomorfolojik ve topoğrafik durumdur (yerleşmenin yüksekliği, eğimi ve yönü) ve mikro ölçekte dış iklime ilişkin değişkenleri de etkilemektedir.

**Binaya ilişkin değişkenler** ise binanın yönlendiriliş durumu, hacim organizasyonu, bina formu, bina aralıkları ve bina kabuğu optik ve termofiziksel özellikleridir.

Enerji etkin yerleşme ve bina tasarımı kapsamında iç iklim değişkenlerinin kullanıcı için belirlenen konfor aralığında olması istenmektedir. İç iklim değişkenlerinin bu aralıkta olması için dış iklim ve kullanıcıya ilişkin değişkenlerin bilinmesi gerekmektedir. İkisi arasında dengeyi kurup kullanıcı için konforun sağlanmasında yapma çevrenin konusu olan yerleşme ve binaya ilişkin değişkenler etkilidir.

## **2.2. Türkiye’de Şehir ve Bölge Planlamada Yapılaşma Şartları**

Türkiye’de Şehir ve Bölge Planlama kavramı yerleşmenin imar mevzuatı kapsamında ele alınmaktadır. İmar mevzuatı hiyerarşisine bakıldığında piramidin en üstünde anayasa ve kanun yer alır. Bu piramidal yapıda kanunu takiben imar planı, tüzük, yönetmelikler ve prensip kararları bulunmaktadır [1]. Planlama, bulunduğu hiyerarşi basamağına bağlı olarak kendinden önce gelenlere bağlı olan ve kendinden sonra gelenleri de yönlendiren bir karar verme sürecidir [2]. Bu sürecin sonuç ürünü olarak plan, plan notları ve yönetmeliklerle yapılaşma şartları tanımlanmaktadır.

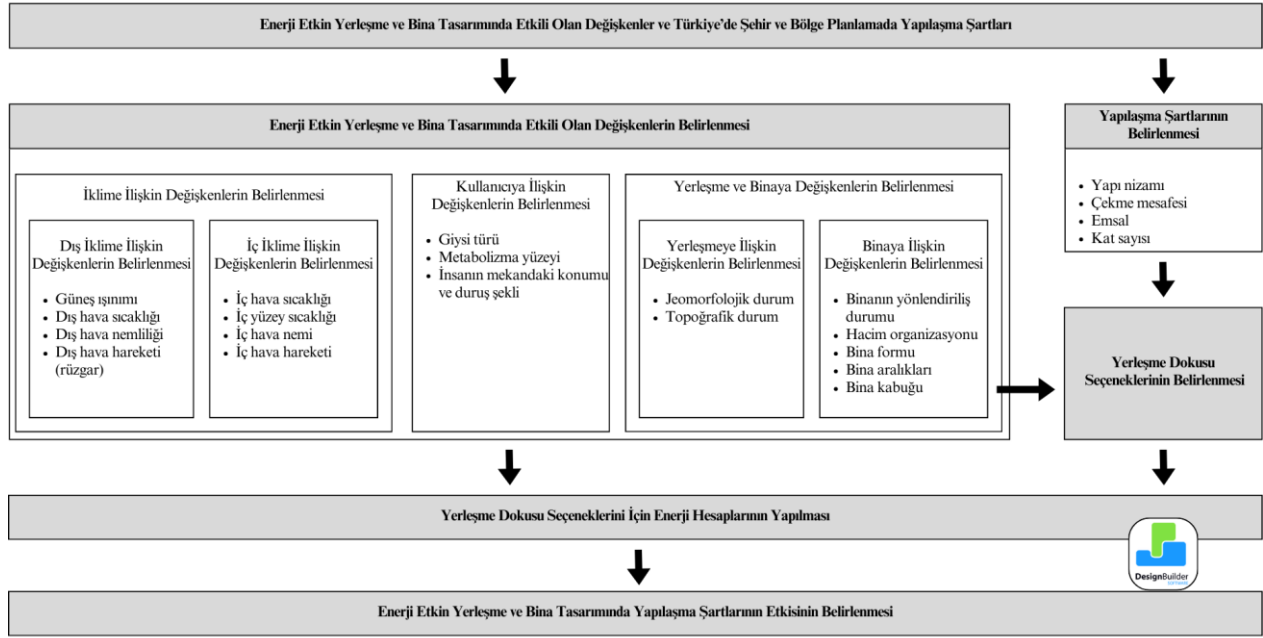
Uygulama İmar Planı'nda tanımlanan yapılaşma şartları, bir bölgenin hacimsel dokusunun son ve belirleyici aşamasıdır. Yapılaşma şartları; yapı nizamları, çekme mesafeleri, TAKS(Taban Alanı Kat Sayısı), KAKS(Katlar Alanı Kat Sayısı), emsal, bina yükseklikleri ve kat sayıları unsurları bu dokuyu kesinleştirir ve somutlaştırır. Bu çalışma kapsamında yapı nizamı, çekme mesafeleri, emsal ve kat sayısı yapılaşma şartlarını belirlemek için kullanılmıştır [4].

- Şehir ve bölge planlamasında yapı nizamı, binaların birbirlerine göre konumlanışını ve aralarındaki mesafeyi belirleyen yapılaşma şartıdır. Ayrık nizam, bitişik nizam ve blok nizam olmak üzere üç yapı nizam türü bulunmaktadır [4].
- Çekme mesafesi, yapı yapmak için parsel sınırından bırakılması gereken minimum mesafeyi ifade etmektedir [4].
- Emsal, yapının inşa edilen tüm kat alanlarının toplamının imar parseli alanına oranıdır [4].
- Kat sayısı, yapılabilecek maksimum kat sayısını ifade etmekte ve bina yüksekliğinin sınırını belirlemektedir [4].

## **3. ENERJİ ETKİN YERLEŞME VE BİNA TASARIMINDA YAPILAŞMA ŞARTLARININ ETKİSİ**

Bu çalışma kapsamında, Türkiye’deki iklim bölgelerinden biri olan ılımlı-nemli iklim bölgesinde yer alan İstanbul için enerji etkin yerleşme ve bina tasarımı yapılaşma şartlarının etkisi incelenmiştir. Bu doğrultuda sırasıyla, enerji etkin yerleşme ve bina tasarımı etkili olan değişkenler ve yapılaşma şartlarına bağlı olarak yerleşme dokusu seçenekleri belirlenmiştir. Bu

seçenekler, değerlendirilmek üzere Design Builder programında modellenerek enerji hesapları yapılmış, ısıtma ve soğutma yükleri hesaplanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1: Çalışmanın Akış Şeması.

### 3.1. Enerji Etkin Yerleşme ve Bina Tasarımında Etkili Olan Değişkenlerin Belirlenmesi

Enerji etkin yerleşme ve bina tasarımında etkili olan değişkenlerin belirlenmesi kapsamında sırasıyla iklime, kullanıcıya ve yerleşme ve binaya ilişkin değişkenler belirlenmiştir.

#### 3.1.1. İklimle ilişkin değişkenlerin belirlenmesi

İklimle ilişkin değişkenler, Bölüm 3.3'te "Yerleşme Dokusu Seçenekleri İçin Enerji Hesaplarının Yapılması" başlığı altında açıklanmıştır. Dış iklim verilerinde İstanbul'a ait simülasyon programında yeralan İstanbul/Atatürk istasyon verileri kullanılmıştır. İç iklimle ilişkin değişkenlerden iç hava sıcaklığı, doğal havalandırma, nem ve taze havalandırmayla ilgili değerler ise Bölüm 3.3'te detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

#### 3.1.2. Kullanıcıya ilişkin değişkenlerin belirlenmesi

Kullanıcıya ilişkin değişkenlerden giysi türü ve metabolizma düzeyi, Bölüm 3.3'te "Yerleşme Dokusu Seçenekleri İçin Enerji Hesaplarının Yapılması" başlığı altında açıklanmıştır.

#### 3.1.3. Yerleşme ve binaya ilişkin değişkenlerin belirlenmesi

Yerleşmeye ilişkin değişkenler kapsamında yerleşmenin çevresine ait arazi kullanımı ve jeomorfolojik ve topoğrafik durum belirlenmiştir. Yerleşmenin arazi kullanımının konut olduğu ve düz bir arazi parçasında yer aldığı varsayılmıştır. Binaya ilişkin değişkenler kapsamında

öncelikle binanın yönlendiriliş durumu, hacim organizasyonu ve bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri belirlenmiştir. Yerleşme kuzey-güney yönlendiriliş durumuna sahiptir. Bu yerleşme üzerinde her bir katında 4 daire bulunan 400 m<sup>2</sup> taban oturumuna sahip binalar bulunmaktadır. Bina kabuğu ise binanın bulunduğu bölge olan İstanbul'un iklim koşullarına uygun olarak TS825-Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standardı gerekliliklerini karşılayacak şekilde belirlenmiştir [2]. Çizelge 1'de görüldüğü gibi bina kabuğu malzemeleri, ısı iletkenlikleri ve kalınlıkları dikkate alınarak hesaplanan toplam ısı geçirgenlik katsayısı (U değeri) standart tarafından İstanbul için tavsiye edilen U değerinin altında kalacak şekilde seçilmiştir.

Çizelge 1: Binalar için belirlenen U değerleri [3].

Bina Elemanı	Malzemeler	Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)	Kalınlık (m)	U Değeri (W/m <sup>2</sup> K)	İstanbul İçin Tavsiye Edilen U Değeri (W/m <sup>2</sup> K)
Dış Duvar	Çimento sıva	0,72	0,02	0,568	0,57
	Isı yalıtım (XPS)	0,034	0,04		
	Gaz beton blok	0,51	0,19		
	Çimento sıva	0,72	0,01		
Toprağa temas eden döşeme	Temel betonu	1,13	0,12	0,543	0,57
	Tesviye şapı	0,17	0,04		
	Isı yalıtım (XPS)	0,34	0,04		
	Çimento şap	0,72	0,03		
	Ahşap parke	0,14	0,01		
Çatı	Çakıl	2,00	0,05	0,369	0,38
	Isı yalıtım (XPS)	0,34	0,08		
	Koruyucu şap	0,41	0,03		
	Betonarme döşeme	1,40	0,15		
	Çimento sıva	0,72	0,01		
Pencere	Ahşap doğrama Çift cam			1,73	1,8

Binaya ilişkin değişkenlerden olan bina yüksekliği ve bina aralıkları, yapılaşma şartlarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği'nin 28. maddesi c fıkrasına dayanarak, yapılaşma şartları konusunda belirtilen kat yükseklikleri şu şekilde düzenlenmiştir: "Konut alanlarında, zemin ve standart katlar için kat yüksekliği maksimum 3,60 m. olarak belirlenmişken, bodrum kat dışında en fazla üç katlı binalar için bu limit 4,00 m.ye çıkarılmıştır." [4]. Bu kapsamda, kat yüksekliği 3,00 m. olarak kabul edilmiş ve yapılaşma şartları kapsamında belirlenen kat sayısı ile çarpılarak bina yüksekliği bulunmuştur. Bina aralıkları ise yapılaşma şartları sınırları içerisinde yapılacak bina sayısına göre değişmektedir.

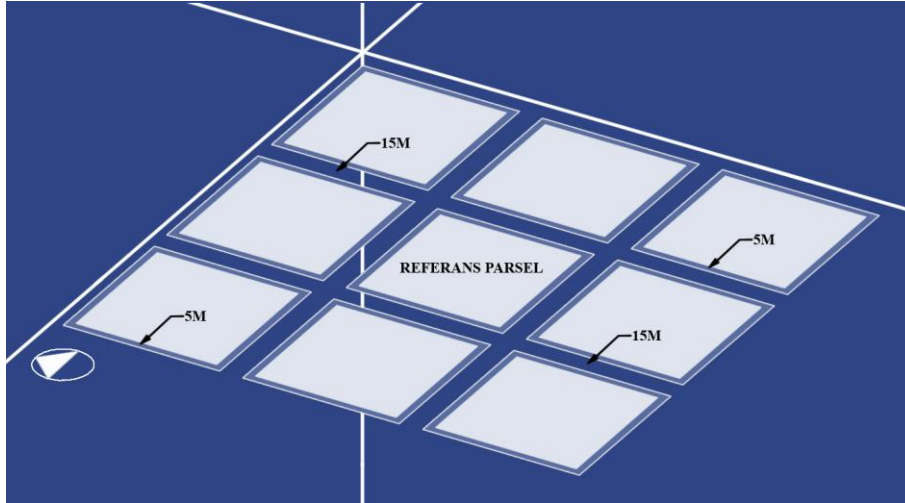
### 3.2. Yapılaşma Şartlarına Bağlı Olarak Yerleşme Dokusu Seçeneklerinin Belirlenmesi

Türkiye'de yapılaşma şartlarının kapsamı, içeriği ve ifadesi bölgeden bölgeye değişkenlik göstermektedir. Bu çalışmada ise yapılaşma şartlarının kapsamı, yapı nizamı (ayrık, bitişik ve blok nizam), çekme mesafesi (yapı yapmak için parsel sınırından bırakılması gereken minimum mesafe), emsal (yapının inşa edilen tüm kat alanlarının toplamının imar parseli alanına oranı) ve kat sayısı üzerinden aşağıdaki kabullere göre yapılmıştır:

- Yapı nizamı, ayrık nizam olarak kabul edilmiştir.

- Çekme mesafesi için özelleştirilmiş bir değer alınmamıştır. Planlı Alanlar Yönetmeliği Madde 23'e göre "yol kenarına rastlayan bahçe en az 5 m. olacaktır" uyulmuştur. [4].
- Emsal ve kat sayısı için ise Uygulama İmar Planlarında en fazla rastlanılan ve karşılaştırma olanağı da düşünülerek; emsal (E) için 0,30 ve 0,60; kat sayıları (K) için ise 2 kat, 3 kat ve 5 kat alınmıştır.

Yerleşme dokusu, bir hektarlık referans parsel alanı (100 m. x 100 m.) ve parselin çevresindeki aynı büyüklükteki diğer parsellerle birleşerek oluşturulan alan üzerinde yer almıştır. Her bir parsel, düzenli bir grid oluşturacak şekilde yerleştirilmiştir. Referans parselde belirlenen yerleşme tasarımının, çevresindeki parsellerde de aynı şekilde olduğu kabul edilmiştir. Parseller arası araç ve yaya kullanımına uygun 15 m. genişliğinde bir yol ağı dahil edilmiştir (**Şekil 2**). Belirlenen yapılaşma şartlarının kapsamında parsel içerisinde yerleşme tasarımı, yoldan 5 m. parsel içerisine çekildikten sonra kalan alan içerisinde yapılmıştır. Ayrıca yerleşme dokusu seçenekleri belirlenirken Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği'ne göre binalar arası mesafe minimum 6 m. olması şartına da uyulmuştur [4].



**Şekil 2:** Yerleşme dokusu ve referans parsel.

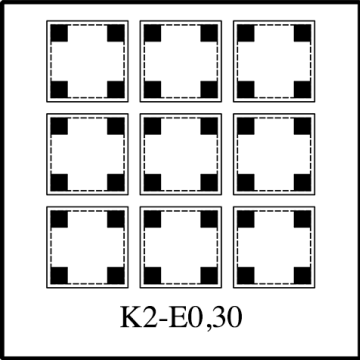
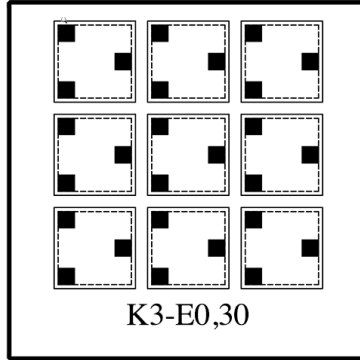
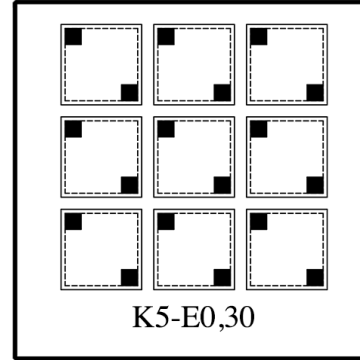
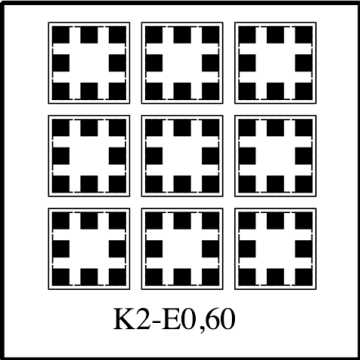
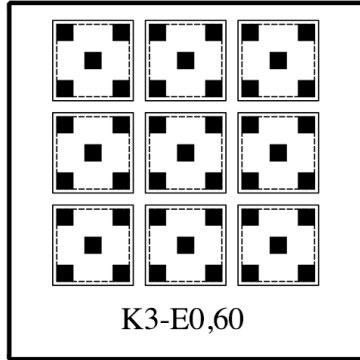
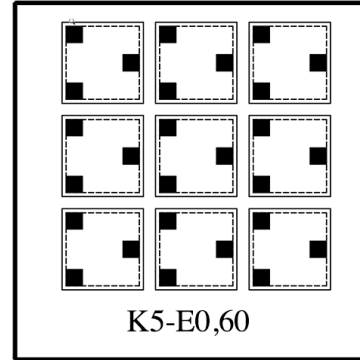
Çalışma kapsamında, **Çizelge 2**'de görüldüğü üzere yapılaşma şartları etkisinde belirlenen 6 farklı kombinasyona sahip yerleşme alanı üzerinde 6 farklı yerleşme dokusu seçeneği elde edilmiştir. Her bir yapılaşma şartı kombinasyonunda yerleşme dokusu seçeneklerinde bulunan bina yüksekliği, bina sayısı ve bina aralıkları değişmektedir. Bina sayısı, belirlenen emsal ve kat sayısı üzerinden aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\frac{\text{Parsel alanı} \times \text{emsal}}{\text{Taban alanı} \times \text{kat sayısı}} = \text{Bina sayısı} \quad (1)$$

Bina aralıkları ise yaklaşık bina sayısı sağlanacak ve birbirine en uzak konumda olacak şekilde belirlenmiştir.



Çizelge 2: Yerleşme dokusu seçenekleri (K=Katsayısı, E=Emsal).

$\begin{matrix} K \\ E \end{matrix}$	2	3	5
0,30	 K2-E0,30	 K3-E0,30	 K5-E0,30
0,60	 K2-E0,60	 K3-E0,60	 K5-E0,60

### 3.3. Yerleşme Dokusu Seçenekleri İçin Enerji Hesaplarının Yapılması

Yerleşme dokusu seçeneklerinin modellenmesi ve enerji hesaplarının yapılması için Design Builder simülasyon programı kullanılmıştır. Design Builder, Amerikan Enerji Bakanlığı'nın geliştirdiği EnergyPlus termal simülasyon motoru için grafik arayüz sunan bir programdır [5]. Öncelikle, simülasyon kapsamında istenilen dış iklime ve iç iklime ilişkin değişkenler belirlenmiştir. Dış iklime ilişkin değişkenler için simülasyon programındaki İstanbul/Atatürk istasyonuna ait 2007-2021 yılları arası veriler kullanılmıştır.

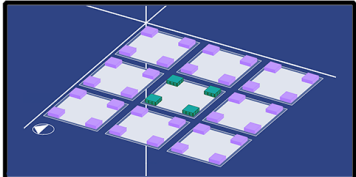
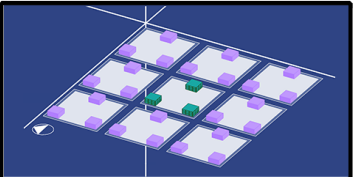
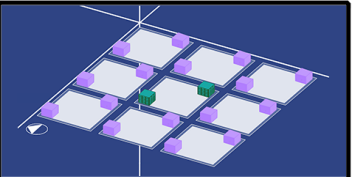
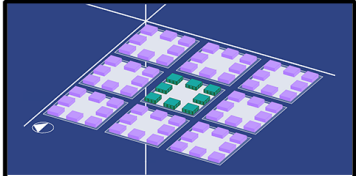
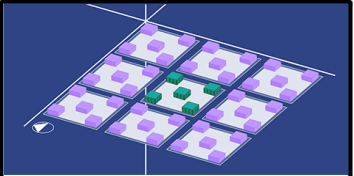
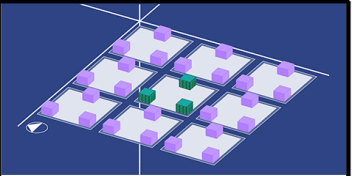
İç iklime ilişkin değişkenler için ise ele alınan sınır veya aralıklara ait değerler şu şekildedir;

- İç mekana ait hava sıcaklığı için ısıtmanın istendiği dönemde ayar sıcaklığı 21°C (heating setpoint temperature-heating), alt sınır sıcaklık 19°C (heating setpoint temperature-heating set back), soğutmanın istendiği dönemde ayar sıcaklığı 26°C (heating setpoint temperature-heating), üst sınır sıcaklık 28°C (heating setpoint temperature-heating set back) kabul edilmiştir.
- Doğal havalandırma için gereken minimum sıcaklık 24°C olarak ayarlanmıştır.
- Bağıl nem için ayar noktası %10 (RH humidification setpoint), nemi düşürme yöntemlerinin devreye girmesi gereken üst sınır ise %90 (RH humidification setpoint) olarak belirlenmiştir.

- Yaşama alanlarında kişi başına düşen minimum taze hava miktarı 10 (L/s) olarak alınmıştır.

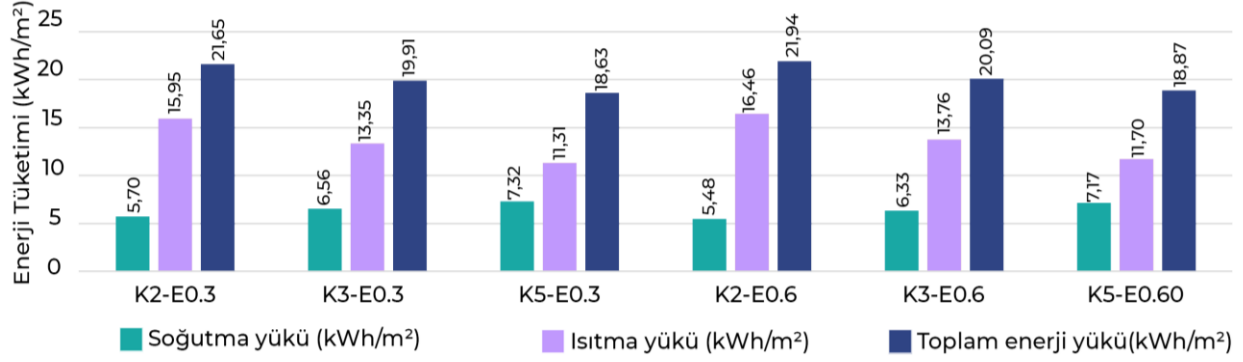
Kullanıcıya ilişkin değişkenlerden, giysi türü ısıtmanın istendiği dönem için 1 Clo, soğutmanın istendiği dönem için 0,50 Clo olarak alınmıştır. Metabolizma düzeyi ise 0,90 MET kabul edilmiştir. Belirlenen yerleşme dokusu seçenekleri için model yapılmış ve Design Builder simülasyon programı yardımıyla yapılan enerji hesaplarında, birim alan başına düşen ısıtma ve soğutma yükleri (kWh/m<sup>2</sup>) hesaplanmıştır. Yapılan modeller ve hesap sonuçları Çizelge 3'de görülmektedir.

**Çizelge 3:** Yerleşme dokusu seçeneklerinin modellenmesi ve enerji hesapları (K=Katsayısı, E=Emsal).

E \ K	K			
	2	3	5	
0,30	 <p><b>K2-E0,30</b> Bina sayısı: 4 Bina aralıkları: min 20m. Isıtma Yükü: 15,95 kWh/m<sup>2</sup> Soğutma Yükü: 5,70 kWh/m<sup>2</sup></p>	 <p><b>K3-E0,30</b> Bina sayısı: 3 Bina aralıkları: min 20m. Isıtma Yükü: 13,35 kWh/m<sup>2</sup> Soğutma Yükü: 6,56 kWh/m<sup>2</sup></p>	 <p><b>K5-E0,30</b> Bina sayısı: 2 Bina aralıkları: min 28m. Isıtma Yükü: 11,31 kWh/m<sup>2</sup> Soğutma Yükü: 7,32 kWh/m<sup>2</sup></p>	
	0,60	 <p><b>K2-E0,60</b> Bina sayısı: 8 Bina aralıkları: min 20m. Isıtma Yükü: 16,46 kWh/m<sup>2</sup> Soğutma Yükü: 5,48 kWh/m<sup>2</sup></p>	 <p><b>K3-E0,60</b> Bina sayısı: 5 Bina aralıkları: min 20m. Isıtma Yükü: 13,76 kWh/m<sup>2</sup> Soğutma Yükü: 6,33 kWh/m<sup>2</sup></p>	 <p><b>K5-E0,60</b> Bina sayısı: 3 Bina aralıkları: min 20m. Isıtma Yükü: 11,70 kWh/m<sup>2</sup> Soğutma Yükü: 7,17 kWh/m<sup>2</sup></p>

### 3.4. Enerji Etkin Yerleşme ve Bina Tasarımında Yapılaşma Şartlarının Etkisinin Belirlenmesi

Modellenen ve enerji hesapları yapılan yerleşme dokusu seçenekleri, yapılaşma şartlarına (emsal ve kat sayısı) bağlı olarak birim alan başına düşen ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri açısından karşılaştırılmıştır (Şekil 3).



**Şekil 3:** Yerleşme dokusu seçeneklerinin yapılaşma şartlarına (emsal ve kat sayısı) bağlı olarak birim alan başına düşen ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri açısından karşılaştırılması.

Yerleşme dokusu seçeneklerinin yapılaşma şartlarına (emsal ve kat sayısı) bağlı olarak birim alan başına düşen ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri açısından karşılaştırıldığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Isıtma yükü, 2, 3 ve 5 katlı binaların hepsinde emsal artıkça artmaktadır.
- Soğutma yükü, 2, 3 ve 5 katlı binaların hepsinde emsal artıkça azalmaktadır.
- Toplam enerji yükü, 2, 3 ve 5 katlı binaların hepsinde emsal artıkça artmaktadır.
- Isıtma yükü, emsalin 0,30 ve 0,60 olduğu her durumda kat sayısı artıkça azalmaktadır.
- Soğutma yükü, emsalin 0,30 ve 0,60 olduğu her durumda kat sayısı artıkça artmaktadır.
- Toplam enerji yükü, emsalin 0,30 ve 0,60 olduğu her durumda kat sayısı artıkça azalmaktadır.
- En düşük soğutma yükü, kat sayısının 2 ve emsalin 0,60 olduğu (K2-E0,60) durumlarda, en yüksek soğutma yükü ise kat sayısının 5 ve emsalin 0,30 olduğu (K5-E0,30) durumlarda elde edilmektedir.
- En düşük ısıtma yükü, kat sayısının 5 ve emsalin 0,30 olduğu (K5-E0,30) durumlarda, en yüksek soğutma yükü ise kat sayısının 2 ve emsalin 0,60 olduğu (K2-E0,60) durumlarda oluşmaktadır.
- En düşük toplam enerji yükü, kat sayısının 5 ve emsalin 0,30 olduğu (K5-E0,30) durumlarda, en yüksek toplam enerji yükü ise, kat sayısının 2 ve emsalin 0,60 olduğu (K2-E0,60) durumlarda elde edilmektedir.
- Kat sayısı artıkça ısıtma yükü azalmakta, soğutma yükü artmakta ve toplam enerji yükü azalmaktadır. Emsal artıkça ise ısıtma yükü artmakta, soğutma yükü azalmakta ve toplam enerji yükü artmaktadır.
- Kat sayısının değiştiği durumlardaki yük değişiminin, emsal değiştiği durumlardaki yük değişiminden daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durumda enerji etkinliği üzerinde kat sayısının, emsalden daha etkili bir yapılaşma şartı olduğu söylenebilir.

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde yapılan bina ve yerleşmelerde enerjinin etkin kullanımı ve enerji korunumu konuları büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle yerleşme ve bina tasarımında yönetmelik ve standartların sonucu olan yapılaşma şartlarının enerji tüketimi açısından sonuçlarını bilmek ve yerleşme tasarımında bu konuları da tasarıma dahil etmek kaçınılmazdır.

Bu çalışmada, enerji etkin yerleşme ve bina tasarımında yapılaşma şartlarının etkisini incelemek için 6 farklı yerleşme dokusu seçeneği oluşturulmuştur. Farklı yapılaşma şartlarını enerji tüketimi açısından incelemek üzere bu seçenekler modellenmiş, ısıtma ve soğutma yükleri hesaplanmıştır. Hesap sonuçlarına bakıldığında; kat sayısı ve emsalin fazla olduğu durumlarda; gölge etkisinin fazla olması dolayısıyla güneş ışınımı kazancının az olması nedeniyle ısıtma yükleri artmakta, soğutma yükleri ise azalmaktadır. Hesap sonuçlarına göre yapılan karşılaştırmalarda birim alandaki enerji yükleri arasındaki farkların çok az olduğu görülmekle birlikte, bu farkın binaların toplam alanı ve yerleşme dokusundaki bina sayısı ile çarpıldığında önemli bir fark yaratacağı açıktır. Böylece, yapılaşma şartlarının enerji etkin yerleşme ve bina tasarım süreçlerindeki etkilerini göstererek, bu alanda çalışan şehir ve bölge planlamacı ile mimarlara enerji etkin tasarımı yönlendirecek stratejiler geliştirmeleri için bilgi sağlanmaktadır. Bu stratejilerle de gelecek için enerji korunumu, enerjinin etkin kullanımı mümkün olacaktır.

#### KAYNAKLAR

1. Yavuz, U. (2017). *İmar Planı Değişikliklerinin Yapılaşma Eğilimlerine Etkisi Üzerine Bir İnceleme* (Yüksek Lisans Tezi) . İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
2. Üstündağ, Ö. & Şengün, M. T. (2011). Türk İmar Mevzuatındaki Plan Türleri ve Fiziki Planlama- Coğrafya İlişkisi Üzerine Genel Bir Değerlendirme. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 21 (2), 1-25.
3. TS-825 (2013). *Binalarda Isı Yalıtım Kuralları*. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
4. Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği. (2017). *T.C. Resmi Gazete*, 30113, 3 Temmuz 2017.
5. Bayraktar M., Schulze T., Yılmaz Z. (t.y.) Binalarda Enerji Simulasyonları İçin Veri Toplama Listeleri Aracılığıyla Veri Yönetimi Modelinin Oluşturulması. Erişim adresi: <http://mmoteskon.org/wp-content/uploads/2014/12/2009-53.pdf>

## **TS 825 STANDARDA UYGUN MEVCUT KONUT BİNALARININ ENERJİ PERFORMANSININ İYİLEŞTİRİLMESİ**

Sinem Büyükkardaşlar<sup>1</sup>  
Fatih Yazıcıoğlu<sup>2</sup>  
İTÜ Mimarlık Fakültesi  
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

### **ÖZET**

*Enerji tüketimi dağılımına bakıldığında ülkemizde enerji tüketiminin yaklaşık % 40'ının binalardan kaynaklanmakta olduğu görülmektedir. 2015 Paris Antlaşması doğrultusunda 2050 yılına kadar binalarda kullanılan enerjinin en aza indirilmesi ve net sıfır emisyonlu binalar hedeflenmektedir. Konutlarda harcanan enerjinin büyük kısmı yapının kullanım aşamasında ısıtma, soğutma ve aydınlatma amacıyla harcanmaktadır ve bu enerji genellikle yenilenemeyen enerji kaynaklarından elde edilmektedir. Ülkemizde bina enerji ihtiyacının azaltılması amacıyla TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standardı kullanılmaktadır. TS 825 standardı binaların yalnızca ısıtma yüklerinin sınırlandırılmasını hedeflemekte, soğutma yüklerini ve aydınlatma yüklerini kapsamamaktadır. Ayrıca farklı iklim bölgelerinde bulunan yapıların ısıtma ve soğutma taleplerinin de birbirinden farklı oluşu göz ardı edilmektedir. Hem mevcut konut stokunun iyileştirilmesi hem de yeni yapılacak konutlardaki enerji tüketiminin en aza indirilmesi için binalarda aktif ve pasif enerji sistemlerinin bir arada kullanılması gerekmektedir. Bu çalışmada; Türkiye'nin iki farklı iklim bölgesinde TS 825 standardına uygun olarak inşa edilmiş mevcut bir konut binası örneğinin ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerji tüketim miktarları hesaplanmış, mevcut binanın enerji performansının iyileştirilmesine yönelik öneriler geliştirilmiştir ve elde edilen sonuçlara göre bina enerji etkinliği değerlendirilmiştir.*

*Anahtar sözcükler: TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı, Bina enerji performansı, Enerji etkin iyileştirme*

### **ABSTRACT**

*When the energy consumption distribution are taken into account, it is seen that approximately 40% comes from buildings in Turkey. In the direction of the 2015 Paris Agreement goals, it is aimed to minimize the energy used in buildings and achieve net-zero emission buildings by 2050. Most of the energy has been consumed in buildings for heating, cooling and lighting during the operation stage of the building and this energy is generally obtained from non-renewable energy sources. In our country, TS 825 Thermal Insulation Requirements For Buildings standard is used to reduce building energy needs. TS 825 standard aims to limit only the heating loads of buildings does not involve cooling and lighting loads. In addition, the standard ignores the fact that the heating and cooling loads of buildings that located in different climatic regions are different from each other. In order to not only minimize energy consumption in new buildings but also improve the existing buildings stock, active and passive energy systems must be used together. In this study; the heating, cooling and lighting loads of an existing residential building had been built in accordance with the TS 825 standard in two different climate zones of Turkey have been calculated, measures have been developed to improve the energy performance of the existing building, and the building energy efficiency have been evaluated according to the results obtained.*

*Key words: TS825 Thermal Insulation Requirements For Buildings Standard, Building Energy Performance, Energy Efficient Improvement*

<sup>1</sup> e-posta adresi: sinembk23@gmail.com

<sup>2</sup> e-posta adresi: yaziciogluf@itu.edu.tr

## 1.GİRİŞ

Dünya genelindeki hızlı nüfus artışı ve endüstrileşme ile birlikte enerjiye olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Gerekli enerjinin genellikle fosil yakıtlardan elde edilmesi yenilenemeyen enerji kaynaklarının tükenmesine, sera gazı emisyonlarının artmasına, bununla birlikte ekolojik dengenin bozulmasına, çevre kirliliğine ve ekonomik sorunlara neden olmaktadır. Ülkemiz enerji ihtiyacı genellikle yenilenemeyen enerji kaynaklarından karşılandığı ve bu kaynakların sağlanmasında dışa bağımlı olan bir ülke konumundadır. Ülkemizde enerji tüketiminin %40'ının, sera gazı emisyonlarının ise %15'inin binalardan kaynaklandığı bilinmektedir [1]. Binalarda kullanılan enerjinin %80'i kullanım aşamasında ısıtma, soğutma ve aydınlatma amacıyla harcanmaktadır. Türkiye'deki bina stoku incelendiğinde yaklaşık %87'sinin konut nitelikli binalardan meydana geldiği ve konutlarda ısıtma amacıyla kullanılan yakıt türleri incelendiğinde yaklaşık %93'ünün doğalgaz ve katı yakıt (kömür, odun vb.) gibi yenilenemeyen enerji kaynaklarından karşılandığı görülmektedir [2, 3].

Gün geçtikçe gelişen dünyadaki hızlı ve plansız yapılaşma ile doğal kaynakların kontrolsüz kullanımı su ve hava kirliliği, sera gazı emisyonlarının artması, küresel ısınma, insan sağlığının bozulması ve iklim değişikliği sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Küresel ölçekte oluşan bu problemlerin önlenmesi ile ilgili ilk çalışmalar 1970'li yıllarda başlamıştır. Türkiye dünya genelindeki bu çalışmalara 2009 yılında Kyoto Protokolü ile dahil olmuştur. 2015 Paris Antlaşması ile birlikte 2030 yılına kadar sera gazı emisyonların %45 azaltılması, 2050 yılına kadar net sıfır emisyon hedefine ulaşılması ve binalardaki enerji tüketiminin azaltılması ile küresel sıcaklık artışının sınırlandırılması amaçlanmaktadır [1].

Türkiye'deki enerji verimliliği ile ilgili ilk çalışmalar 1970 yılında yayınlanmış olan “Binalarda Isı Etkilerinden Korunma Kuralları” ile olmuştur. 1981 yılından binalarda ısı yalıtım şartlarının aranması zorunlu hale getirilmiş, 1985 yılında “Isı Yalıtım Yönetmeliği”, 2000 yılında “Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği” yayınlanmıştır. 2008 yılında binalarda enerjinin etkin ve verimli kullanılması amacıyla “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği” yürürlüğe girmiştir. 2013 yılında yapılan revizyon ile birlikte de günümüzde halen kullanımına devam edilen TS 825 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardı yayınlanmıştır.

TS 825 standardının amacı “binaların ısıtılmasında kullanılan enerji miktarlarını sınırlamak, enerjiden tasarruf etmek ve net ısıtma enerjisi ihtiyacının hesaplanması sırasında kullanılacak standart hesap metodu ve değerlerini belirlemek” olarak tanımlanmıştır [5]. Bu amaçla ülkemiz 5 derece gün bölgesine ayrılmış ve her bölge için hesaplamalarda kullanılacak aylık ortalama dış sıcaklık değerleri, aylık ortalama güneş ışınımı şiddeti değerleri ve yapı kabuğu maksimum ısıl geçirgenlik katsayıları (U-değeri) belirlenmiş, ısıtma için metrekare başına harcanan enerjiye iklim bölgelerine bağlı olarak sınırlama getirilmiştir. Bina ısıtma enerjisi ihtiyacının hesaplanmasında Eşitlik (1) ve Eşitlik (2)'den yararlanılmaktadır.

$$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} \quad (1)$$

$$Q_{ay} = [ H(\theta_i - \theta_e) - \eta_{ay} (\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay}) ] \cdot t \quad (2)$$

Bunun için ilk olarak iletim ve taşınım yoluyla ve havalandırma ile gerçekleşen binanın özgül ısı kaybı (H), aylık ortalama iç kazançlar ( $\phi_{i,ay}$ ) ile aylık ortalama güneş enerjisi kazançları ( $\phi_{s,ay}$ )

hesaplanmaktadır. İç kazançlar; insanlardan kaynaklanan metabolik ısı kazançlarını, sıcak su sisteminden, yemek pişirme işleminden, aydınlatma sisteminden ve binalarda kullanılan elektrikli cihazlardan kaynaklanan ısı kazançlarını ifade etmektedir. Güneş enerjisi kazançları ise pencerelerden gelen doğrudan güneş ışınımını ifade etmekte pasif güneş enerjisi sistemleri ihmal edilmektedir [5].

TS 825 standardı binalarda ısıtma amacıyla harcanan enerji miktarına düzenleme getirmekle birlikte soğutma, aydınlatma, sıcak su ihtiyacı ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına ilişkin düzenlemeleri içermemekte, referans sınırlamalar bulunmamaktadır. Enerji etkin bina tasarımında amaç yapının tasarım aşamasından itibaren yapıyı oluşturan malzeme ve bileşenlerin üretimi, yapının inşası, kullanımı, bakımı ve yıkımı aşamalarında harcanan enerjinin en aza indirilmesidir. Bu amaçla, binanın fonksiyonuna, kullanıcı konfor koşullarına ve binanın çevre ile ilişkisine bağlı olarak ısıtma ve soğutma enerji tüketimlerini azaltacak, doğal ve yapay aydınlatma etkinliğini artıracak ve yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Mevcut konut stokunun enerji verimliliğinin iyileştirilmesi ise mevcut durumun iyi şekilde analiz edilmesi ve uygun aktif ve pasif sistemlerin yapıya entegre edilmesi ile sağlanabilecektir. Bu çalışma ılıman-nemli ve soğuk olmak üzere Türkiye'nin iki farklı iklim bölgesinde yer alan ve TS 825 standardına uygun olarak inşa edilmiş bir konut yapısının enerji performansının analiz edilmesini ve mevcut binaya entegre edilebilecek enerji verimliliği iyileştirme senaryolarının belirlenmesini, elde edilen verilerin mevcut durum ile karşılaştırılmasını ve enerji verimliliği en yüksek olan durumun tespitini amaçlamaktadır.

## 2. YÖNTEM

Çalışma kapsamında öncelikle Türkiye genelindeki konut yapılarının özelliklerini iyi şekilde yansıtabilecek referans konut tipi tespit edilerek, plan tipolojisi, sistem özellikleri, yapı kabuğu U-değerleri belirlenmiş, bir benzetim aracı ile referans konut binasının iki farklı iklim bölgesindeki ısıtma, soğutma ve aydınlatma amaçlı enerji tüketim miktarları hesaplanmıştır. Ardından referans konut yapısının enerji etkinliğinin iyileştirilmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi amacıyla 5 farklı alternatif iyileştirme senaryosu oluşturulmuş ve elde edilen veriler mevcut durum ile karşılaştırılmıştır.

### 2.1. Referans Konut Binasının Belirlenmesi

Türkiye'deki mevcut konut yapılarının özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2021 yılı Bina ve Konut Nitelikleri Araştırması ve Kullanım Amacına Göre Yapı İzin İstatistikleri verilerinden ve literatürden elde edilen verilerden yararlanılarak ülke genelindeki mevcut konut stokunun özelliklerini iyi yansıtan bir konut modeli çalışmanın referans konut yapısı olarak kabul edilmiştir [3, 4]. Referans konut yapısı 5 katlı, her katta bağımsız bölüm sayısı 2 olan, bağımsız bölüm brüt alanı 120,00 m<sup>2</sup>, ortak kullanım alanı 25 m<sup>2</sup>, bağımsız bölüm oda sayısı 4, kat yükseklikleri 2,80 m olan, 22,3 m x 12,0 m ebatlarında betonarme taşıyıcı sistemli bir konut yapısıdır [3, 4]. Belirlenen referans konut planı tipi Şekil 1'de gösterilmektedir.



**Şekil 1:** Referans konut binası planı

TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardına göre 2. Bölgede bulunan İstanbul için yapı kabuğu U-değerleri dış duvarlarda  $0,57 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , tavanda  $0,38 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , zemine oturan döşemede  $0,57 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  olarak, 5. Bölgede bulunan Erzurum için ise dış duvarlarda  $0,36 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , tavanda  $0,21 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , zemine oturan döşemede  $0,36 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  olarak sınırlandırılmıştır. Pencere için U-değeri her iki iklim bölgesinde de  $1,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  olarak önerilmektedir [5]. Standartta belirtilen sınır U-değerleri sabit tutularak yapı kabuğunda en sık kullanılan yapı malzemelerine göre dış duvar, teras çatı ve döşeme detayları belirlenmiştir. Binanın ısıtılması ve sıcak su temini bireysel kombi ve doğal gaz ile, soğutulması split klima ile sağlanmaktadır. Aydınlatma sistemi olarak diğer aydınlatma elemanlarına kıyasla enerji verimliliği daha yüksek olan LED aydınlatma armatürleri kullanıldığı varsayılmıştır [6]. Referans konut yapısında mekanik havalandırma bulunmamakta, doğal havalandırma sağlanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynağı kullanımı da bulunmamaktadır. Yapıda kullanılan sistemlere ilişkin verileri piyasa araştırması sonucunda üretici firmalardan elde edilen teknik bilgiler doğrultusunda belirlenmiştir. Binaya ait özellikler **Çizelge 1**'de sunulmaktadır.

**Çizelge 1:** Referans konut binası özellikleri

Taşıyıcı sistem tipi	Betonarme iskelet sistem
Pencere sistemi	PVC-standart çift cam (4mm+16 mm hava+4mm); U-değeri: $2,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
Pencere/duvar oranı	Güney: %30, Doğu-Batı: % 20
Toplam Alan ( $\text{m}^2$ )	$1325 \text{ m}^2$
Isıtılan Alan ( $\text{m}^3$ )	$3600 \text{ m}^3$
Isıtma sistemi	Bireysel yoğuşmalı kombi, Doğal gaz, CoP: 0,92
Soğutma sistemi	Split Klima, SEER: 7,00, SCoP: 4,30
Sıcak su sistemi	Bireysel yoğuşmalı kombi, Doğal gaz, CoP: 0,92
Havalandırma sistemi	Doğal havalandırma
Aydınlatma sistemi	LED
Mekanik havalandırma	Yok
Yenilenebilir enerji kullanımı	Yok



## 2.2. İyileştirme Senaryolarının Belirlenmesi

Enerji verimli iyileştirme senaryoları ısıtma, soğutma ve aydınlatma sistemlerinin iyileştirilmesi, pencere sistemlerinin iyileştirilmesi, güneş kırıcılar ile güneş enerjisi kazançlarının azaltılması ve aktif güneş enerji sistemlerinin binaya entegre edilmesi şeklindedir. Mevcut bir binanın enerji verimli iyileştirilebilmesi için öncelikle mevcut durumun iyi şekilde analiz edilmesi, iklimin, bina tipolojisinin, yapı kabuğunun birlikte değerlendirilmesi ve elde edilen verilere göre aktif ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı gibi parametrelerin optimum şekilde uygulanması gerekmektedir. Aydınlatma amacıyla harcanan enerji miktarı konut elektrik enerjisi tüketiminde %20 paya sahiptir [7]. Aydınlatma enerji verimliliğinin sağlanabilmesi için doğal aydınlatmadan en iyi şekilde yararlanılmalı, enerji verimliliği yüksek armatürler seçilmeli ve gerekli aydınlatma miktarını sağlayacak şekilde aktif sistemlerden faydalanılmalıdır. Senaryo 1’de aydınlatma için harcanan enerji miktarının azaltılması amacıyla gün ışığı miktarına göre kademeli olarak 3 aşamada çalışan bir aydınlatma kontrol sistemi belirlenmiştir. Isı geri kazanım sistemleri ile birlikte hem ısıtma ve soğutma için harcanan enerji miktarından tasarruf sağlanırken hem de iç hava kalitesi iyileştirilmektedir. Senaryo 2’de ısı geri kazanımlı mekanik havalandırma sistemi ile iç hava kalitesinin artırılması ve enerji tüketiminin azaltılması amaçlanmıştır. Senaryo 3’te güneş ışığından kaynaklanan yüksek ısı enerjisi kazancının sınırlandırılarak özellikle yaz aylarında soğutma enerji tüketiminin azaltılması amacıyla güney yöndeki pencere açıklıklarının üst kısmında 0,50 m yatay güneş kırıcı elemanlar kullanılması önerilmektedir. Gelişmiş pencere sistemlerinin kullanımı düşük U-değerleri ile iyi bir yalıtım sağlarken aynı zamanda enerji tasarrufu da sağlamaktadırlar. Kullanılan düşük emisyonlu (low-e) kaplamalı yansıtıcı camlar yazın iç mekanın serin kışın ise sıcak kalmasını sağlamaktadır. Senaryo 4’te mevcut pencere sistemi ısı ve güneş kontrolü sağlayan low-e kaplamalı pencere sistemi ile değiştirilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin yapıda kullanımı en yaygın ve ulaşılabilir enerji sistemlerindedir. Senaryo 5’te güneş enerjisinden yararlanılarak enerji üretiminin sağlanması amacıyla bina teras çatısına fotovoltaik panel sistemi eklenmiştir. Panel tipinin belirlenmesinde literatürden elde edilen veriler değerlendirilmiş ve mono kristalli silikon panellerin kullanım alanlarının daha geniş olduğu ve enerji üretim kapasitelerinin de yüksek olduğu tespit edilmiştir. PV sistem tasarımında çatı alanı sınır olarak kabul edilmiş, panellerin aktif hücre kullanım alanı belirlenerek yan yana 14 adet panel olmak üzere 7 sıra PV panel entegre edildiği ve panellerin gölgeleme faktöründen etkilenmemesi amacıyla çatıda parapet ve baca gibi elemanların bulunmadığı varsayılmıştır. Panel aralıklarının belirlenmesinde;

$$S_{opt} = e - 1,5d - \frac{|d|e}{180} \quad (3)$$

$$d = 23,45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{n+284}{365}\right) \quad (4)$$

$$\alpha = 90 - e - 23,5 \quad (5)$$

$$b = \frac{a}{\tan \alpha} \quad (6)$$

eşitliklerinden yararlanılmıştır [8]. Buna göre; 41° enlemde bulunan İstanbul ve 39,6° enlemde bulunan Erzurum için panellerin eğimi 36° ve paneller arası mesafeler 190 cm olarak hesaplanmıştır. Sistemlere ilişkin teknik bilgilerin belirlenmesinde piyasa araştırması sonucunda üreticilerden elde edilen veriler esas alınmıştır. PV sistem evirici kWp/kWh (DC/AC) oranı

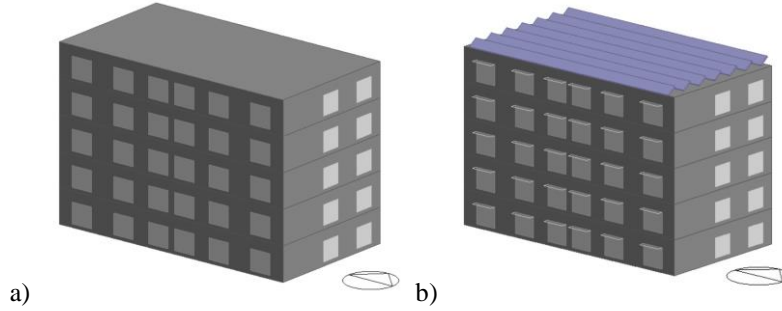
literatürden elde edilen verilere göre 1,25 olarak kabul edilmiştir [9, 10, 11]. Seçilen iyileştirme senaryolarına ilişkin bilgiler **Çizelge 2**'de gösterilmektedir.

**Çizelge 2:** İyileştirme senaryoları

S1	Aydınlatma kontrolü	Gün ışığı sensörlü 3 kademeli
S2	Isı geri kazanım ünitesi	Termal verimlilik; %86
S3	Güneş kırıcı elemanlar	Güney yönde 0,5m yatay elemanlar
S4	Pencere cam sistemi	6 mm tentesol – 16 mm hava – 4 mm low-e cam; U-değeri: 1,3 W/m <sup>2</sup> .K
S5	PV sistem	Mono kristal silikon panel – 340Wp– 1,512 m <sup>2</sup> Aktif hücre kullanım alanı

### 2.3. Enerji Performans Analizlerinin Gerçekleştirilmesi

Çalışma kapsamında referans bina ısıtma, soğutma ve aydınlatma amaçlı enerji tüketim miktarları ile mevcut yapıya entegre edilmesi önerilen iyileştirme senaryolarının enerji performanslarının tespit edilmesinde Design Builder benzetim programından yararlanılmıştır [12]. Referans bina ve iyileştirme senaryoları bina modellerine ilişkin görseller **Şekil 2**'de gösterilmektedir.



**Şekil 2:** a) Referans bina modeli, b) İyileştirme senaryoları uygulanan bina modeli

İki farklı iklim bölgesi ılımlı-nemli İstanbul (2. Bölge) ve soğuk Erzurum (5. Bölge) için yapılan hesaplamalarda bölge iklim verilerinden yararlanılmıştır [13]. Referans konut yapısının haftanın tüm günlerinde kullanıldığı varsayılmıştır. Isıtma ayar sıcaklığı TS 825 standardında belirlendiği üzere 19 °C olarak alınmıştır [5]. Soğutma ayar sıcaklığı ise Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği ve TS EN ISO 52016-1 standardına göre 26 °C olarak kabul edilmiştir [14, 15]. Aydınlatma şiddeti konutlarda 100 lux olarak belirlenmiştir [16]. Modele ilişkin veriler **Çizelge 3**'te gösterilmektedir.

**Çizelge 3:** Design Builder bina modeline ilişkin bilgiler

Konum	İstanbul – Erzurum
Aktivite düzeyi	Konut alanı – Ev içi dolaşım
Isıtma set point – set back sıcaklığı	19 °C – 16 °C
Soğutma set point – set back sıcaklığı	26 °C – 32 °C
Aydınlatma şiddeti	Konut – 100 lux

### 3. BULGULAR

İstanbul için referans konut binasının yıllık enerji tüketim miktarları hesaplandığında ısıtma için harcanan enerji miktarı 18.715,23 kWh, soğutma için 6.576,07 kWh ve aydınlatma için 22.191,26 kWh olarak tespit edilmiştir. Uygulanan enerji verimli iyileştirme senaryoları ile referans binanın metrekare başına yıllık enerji tüketimleri **Çizelge 4**'te gösterilmektedir. Buna göre Senaryo 1 ile gün ışığı sensörlü aydınlatma kontrolünün ısıtma enerjisinde yaklaşık %14'lük artışa neden olurken soğutma enerjisinde %13, aydınlatma enerjisinde %46 ve toplam enerji tüketiminde %18 oranında azalma sağladığı gözlemlenmiştir. Senaryo 2 ile ısı geri kazanım sistemi kullanımının ısıtma enerjisinde %6 artışa neden olurken, soğutma enerjisinde %57 oranında toplam enerji tüketiminde yaklaşık %5 oranında azalma sağladığı görülmüştür. Güney yöndeki pencerelerin üst kısımlarına yerleştirilen güneş kırıcıların kullanıldığı Senaryo 3'te toplam enerji tüketimi yaklaşık olarak aynı değerde kalırken ısıtma enerjisindeki %6 artışa karşılık soğutma enerjisinde %17 azalma sağlanmıştır. Isı kontrollü reflektif cam sistemi kullanılan Senaryo 4'te ısıtma enerjisindeki %4 artışa karşı soğutma enerjisinde %56 kazanç sağlandığı, toplam enerji tüketiminin ise %6 azaldığı gözlemlenmiştir. Senaryo 5'te PV sistemin 29.061 kWp enerji üretimi sağladığı ve toplam enerji tüketiminin %49'unun PV sistem ile karşılanabildiği gözlemlenmiştir.

**Çizelge 4:** Referans bina ve iyileştirme senaryolarına ilişkin enerji performans analiz sonuçları - İstanbul

	Enerji Tüketimi			Enerji Üretimi	Toplam (kWh/m <sup>2</sup> -yıl)
	Isıtma (kWh/m <sup>2</sup> -yıl)	Soğutma (kWh/m <sup>2</sup> -yıl)	Aydınlatma (kWh/m <sup>2</sup> -yıl)	PV sistem (kWh/m <sup>2</sup> -yıl)	
<i>R</i>	14,12	4,96	16,75	–	54,79
<i>S1</i>	16,11	4,29	8,88	–	48,24
<i>S2</i>	15,05	2,09	16,75	–	52,85
<i>S3</i>	15,09	4,13	16,75	–	54,93
<i>S4</i>	14,75	2,20	16,75	–	52,66
<i>S5</i>	14,27	4,82	16,75	-17,55	37,25
<i>Ti</i>	17,85	0,86	11,98	-17,55	32,10

*Ti: S1 – S2 – S4 – S5 senaryolarının kombinasyonu*

Erzurum'da referans konut binasının yıllık enerji tüketim miktarları incelendiğinde ısıtma amaçlı enerji tüketiminin 18.950,01 kWh, soğutma enerjisinin 1.491,16 kWh, aydınlatma enerjisinin 22.015,2 kWh ve toplam enerji tüketiminin 47.482,56 kWh olduğu görülmüştür. Referans konut binası ve iyileştirme senaryolarının metrekare başına enerji tüketim miktarları **Çizelge 5**'te görülmektedir. İyileştirme senaryolarının enerji performansları incelendiğinde Senaryo 1'de ısıtma enerjisindeki yaklaşık %16 oranındaki artışa karşı soğutma enerjisinde %21,5 ve aydınlatma enerjisinde %49 oranında tasarruf sağlandığı toplam enerji tüketiminin ise %19 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Senaryo 2 için soğutma enerjisi %44 azalırken ısıtma enerjisinde %14 oranında artış olduğu, toplam enerji tüketiminin ise %5 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Senaryo 3'te kullanılan güneş kırıcı elemanların ısıtma enerjisini %19, toplam enerji tüketimini %7 oranında artırdığı, soğutma enerjisinde ise %38 oranında azalma sağladığı görülmüştür. Senaryo 4 için soğutma amaçlı enerji tüketiminin %80 oranında azaldığı ancak ısıtma enerjisinin %60, toplam enerji tüketiminin ise %24 arttığı tespit edilmiştir. PV sistem kullanımının 44.874,21 kWp enerji üretimi sağlarken yapının toplam enerji tüketiminin %85'ini karşıladığı gözlemlenmiştir.

**Çizelge 5:** Referans bina ve iyileştirme senaryolarına ilişkin enerji performans analiz sonuçları - Erzurum

	Enerji Tüketimi			Enerji Üretimi	Toplam (kWh/m <sup>2</sup> -yıl)
	Isıtma (kWh/m <sup>2</sup> -yıl)	Soğutma (kWh/m <sup>2</sup> -yıl)	Aydınlatma (kWh/m <sup>2</sup> -yıl)	PV sistem (kWh/m <sup>2</sup> -yıl)	
<i>R</i>	14,30	1,13	16,62	–	32,04
<i>S1</i>	16,66	0,88	8,45	–	26,00
<i>S2</i>	16,35	0,63	16,62	–	33,59
<i>S3</i>	17,08	0,70	16,62	–	34,39
<i>S4</i>	22,97	0,23	16,62	–	39,82
<i>S5</i>	14,84	1,08	16,62	-27,09	5,44
<i>Te</i>	17,25	0,85	8,45	-27,09	-0,54

*Te: S1 – S5 senaryolarının kombinasyonu*

Elde edilen sonuçlar mevcut binaya ısıtma, soğutma, aydınlatma ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı gibi iyileştirme senaryolarının uygulanmasında elde edilen sonuçların her iki iklim bölgesi için de farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. İstanbul için S3'te enerji tüketim miktarı %0,4 oranında artarken diğer senaryolarda %5 ila %49 arasında enerji verimliliğinin arttığı görülmüştür. Erzurum için ise S1 ve S5'te enerji tüketimlerinin sırasıyla %19 ve %85 oranında azaldığı ancak diğer senaryolarda enerji tüketimlerinde artış meydana geldiği gözlemlenmiştir. İstanbul için S1, S2, S4 ve S5 birlikte değerlendirildiğinde ısıtma amaçlı enerji tüketiminde %26 artış olmasına karşın soğutma enerjisinde %83, aydınlatma enerjisinde %28 ve toplam enerji tüketiminde %14 tasarruf sağlandığı ayrıca toplam enerji tüketiminin %57 oranında PV sistem ile karşılanabildiği gözlemlenmiştir. Erzurum için ise S1 ve S5 birlikte değerlendirildiğinde ısıtma amaçlı enerji tüketiminde %21 artış, soğutma enerjisinde %24 ve aydınlatma enerjisinde %49 azalma, toplam enerji tüketiminde ise %17 azalma olduğu tespit edilmiştir. PV sistem ile üretilen enerji miktarının ise toplam enerji ihtiyacının tamamını karşılayabildiği gibi yaklaşık %2 oranında daha fazla enerji üretimi sağladığı gözlemlenmiştir.

#### 4. SONUÇ

Binalar enerji tüketiminde büyük paya sahiptir. 2050 yılı enerji hedefleri doğrultusunda yalnızca yeni konut yapılarında değil aynı zamanda mevcut konut stokunda da enerji verimliliğinin sağlanması gerekmektedir. Binalardaki enerji tüketiminin büyük kısmı kullanım evresinde ısıtma, soğutma ve aydınlatma amacıyla harcanmaktadır. Ülkemizde binaların enerji verimliliğinin sağlanması ile ilgili çalışmalar TS 825 standardı esas alınarak yapılmaktadır ve derece gün bölgelerine göre belirlenen sınırlamalar ile ısıtma için harcanan enerji miktarının azaltılması amaçlanmaktadır.

Çalışma kapsamında TS 825 standardına uygun olarak tasarlanmış mevcut bir konut yapısının iki farklı iklim bölgesinde ısıtma, soğutma, aydınlatma ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanımındaki enerji performansı incelenmiş ve iyileştirilmesine yönelik alternatif aktif ve pasif sistemler önerilmiştir. Önerilen senaryolar referans yapının enerji tüketim miktarları ile kıyaslandığında farklı iklim bölgeleri için farklı sonuçların ortaya çıktığı görülmüştür.

Ilıman nemli iklim bölgesinde bulunan İstanbul ile soğuk iklim bölgesinde bulunan Erzurum'da referans yapılar TS 825 standardındaki U-değerlerine uygun olarak tasarlanmış ve elde edilen

sonuçlar kıyaslandığında ısıtma amacıyla harcanan enerji miktarlarının yaklaşık olarak birbirine yakın olduğu ancak soğutma enerjisinin İstanbul için %341 oranında daha fazla olduğu ve toplam enerji tüketiminin de %7 oranında daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum TS 825 standardı ile U-değerlerine getirilen sınırlamaların binaların ısıtma performansını iyileştirmesine rağmen soğutma performansı için aynı etkinliği göstermediğini ortaya koymaktadır.

Aydınlatma sisteminde yapılan iyileştirmenin her iki iklim bölgesinde de enerji verimliliğini artırdığı gözlemlenmiştir. Isıtma enerjisi miktarında bir miktar artışa neden olsa da toplam enerji tüketiminin büyük oranda azaldığı görülmüştür. Isı geri kazanım ünitelerinin bina enerji performansına İstanbul için olumlu yönde katkı sağlarken Erzurum için toplam enerji tüketiminde artış meydana geldiği tespit edilmiştir.

Güney yöndeki pencerelerde kullanılan güneş kırıcı elemanların güneşten gelen enerji kazançlarını sınırlandırması nedeniyle soğuk iklim bölgesindeki Erzurum için soğutma enerjisinde bir miktar iyileştirme sağlamış olsa da ısıtma enerjisini artırdığı ve İstanbul için toplam enerji tüketiminin yaklaşık olarak aynı olduğu gözlemlenmiştir. Benzer şekilde low-e kaplamalı, ısı ve güneş kontrollü cam sistemlerinin kullanımı İstanbul için soğutma enerjisi miktarını azaltmış ancak Erzurum'da ısıtma enerjisi ihtiyacında yüksek artışa neden olmuştur. Bu durum Erzurum için güneş enerji kazançlarından daha fazla yararlanılması, İstanbul için ise kazançların azaltılması gerektiğini göstermektedir.

Fotovoltaik panel sistemlerinin enerji verimlilikleri güneş ışınım şiddeti, güneşe göre konum, panellerin eğimi, güneye yönelimleri, sıcaklık ve gölgeleme faktörü gibi parametrelere göre değışkenlik göstermektedir. Erzurum ve İstanbul'da kullanılan PV sistemlerin enerji üretimleri kıyaslandığında güneş ışınım şiddetinin daha yüksek olduğu Erzurum'da %55 daha fazla enerji üretimi sağlandığı görülmüştür. Ayrıca enerji ihtiyacının da büyük kısmının PV sistem ile karşılanabildiği tespit edilmiştir.

Her iki iklim bölgesi için enerji verimliliğinin sağlandığı alternatifler birlikte değerlendirildiğinde ısıtma amaçlı enerji tüketiminde bir miktar artış meydana gelmesine karşın soğutma ve aydınlatma enerjilerinde yüksek oranda tasarruf sağlanabildiği ve toplam enerji tüketiminin de azaltılabildiği gözlemlenmiştir. PV sistemler ile bina toplam enerji ihtiyacının büyük kısmının karşılanabildiği görülmüştür.

Mevcut konut yapılarındaki enerji etkinliğinin sağlanabilmesi için öncelikle yapının durumunun iyi şekilde analiz edilmesi sonrasında ısıtma, soğutma ve aydınlatma amacıyla harcanan enerji miktarlarının birlikte değerlendirilerek enerji verimliliğinin sağlanabilmesi için yapıya entegre edilebilecek uygun aktif ve pasif sistemlerin belirlenmesinde ayrıntılı bir değerlendirme yapılarak karar verilmesi gerekmektedir. Bu amaçla da uygulamadaki standart ve yönetmeliklerin bina enerji verimliliğini tüm yönleri ile değerlendirebilecek şekilde geliştirilmesi, gerekli sınırlamaların belirlenmesi ve denetimlerinin sağlanması gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

1. İstanbul Politikalar Merkezi, “Türkiye’nin Karbonsuzlaşma Yol Haritası 2050’de Net Sıfır”, *Sabancı Üniversitesi*, (2022), İstanbul, Türkiye.
2. TÜİK, “Enerji kaynaklarına göre elektrik enerjisi üretimi ve payları”, *Türkiye İstatistik Kurumu*, (2018), Ankara, Türkiye.
3. TÜİK, “Bina ve Konut Nitelikleri Araştırması”, *Türkiye İstatistik Kurumu*, (2022), Ankara, Türkiye.
4. TÜİK, “Kullanma Amacına Göre Yapı İzin İstatistikleri”, *Türkiye İstatistik Kurumu*, (2021), Ankara, Türkiye.
5. TS 825, “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, (2013), Ankara, Türkiye.
6. M. T. Gençoğlu, E. Özbay, “Aydınlatmada enerji verimliliği yöntemleri”, *Elektrik Mühendisleri Odası*, (2007), Ankara, Türkiye.
7. Y. Bayrak, H. R. Aktürk Sezer, “Konut aydınlatmasında elektrik tasarrufu ve toplam Türkiye tüketimine etkisi”, *Elektrik Mühendisleri Odası*, (2008), Ankara, Türkiye.
8. G. Koçlar Oral, “Güneş Işınımı ve Yapı Dizaynı”, *Ders Notları*, (2023), İstanbul Teknik Üniversitesi.
9. M.F. Beyoğlu, M. Demirtaş, “Determination of optimal DC/AC ratio for grid-connected photovoltaic systems”, *Celal Bayar University Journal of Science*, (2023).
10. B. Kıracı, “PV tesislerde yüksek DC-AC oranı seçimi ve fırsatlar”, *Elektrik Mühendisleri Odası*, (2015), Ankara, Türkiye.
11. P.M. Rodrigo, R. Velázquez, E.F. Fernández, “DC/AC conversion efficiency of grid-connected photovoltaic inverters in central Mexico”, *Solar Energy*, (2016).
12. Design Builder, Versiyon 4.5, *Bilgisayar yazılımı*.
13. [https://climate.onebuilding.org/WMO\\_Region\\_6\\_Europe/TUR\\_Turkey/index.html](https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_6_Europe/TUR_Turkey/index.html), Erişim: 16 Ocak 2024.
14. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, (2008), Ankara, Türkiye.
15. TS EN ISO 52016-1, “Binaların enerji performansı - Isıtma ve soğutma, iç sıcaklıklar ve mantıklı ve gizli ısı yükleri için enerji gereksinimleri - Bölüm 1: Hesaplama prosedürleri”, Türk Standartları Enstitüsü, (2017), Ankara, Türkiye.
16. Ö. Sümengen, A. Köknel Yener, "Konutlarda aydınlatma enerjisi performansı ve görsel konfor koşulları," *7. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu*, (2013), İzmir, Türkiye, pp.184-203.
17. Munda Solar, “340W Mono perc güneş paneli”, (2024), Erişim: 20 Mart 2024, <https://mundasolar.com/urun/340w-mono-perc-gunes-paneli-m3-bigcell-60-hucre-tam-siyah/>
18. Arçelik, “Premix yoğunmalı kombi”, (2024), Erişim: 20 Mart 2024, <https://www.arcelik.com.tr/premix-yogusmali-kombi>
19. Arçelik, “Split klima”, (2024), Erişim: 20 Mart 2024, <https://www.arcelik.com.tr/split-klima>
20. Doğu, “Isı geri kazanım cihazı”, (2024), Erişim: 20 Mart 2024, <https://www.doguiklimlendirme.com/d/isi-geri-kazanim-cihazlari/home-ev-tipi-isi-geri-kazanim-cihazı>
21. Isıcam, “Cam sistemleri”, (2024), Erişim: 20 Mart 2024, <https://www.isicam.com.tr/tr/urunler/profesyoneller-icin-urun-katalogu>

# CEPHE KAPLAMA MALZEMESİNİN GÜNEŞİ SOĞURMA ORANININ YAPININ ISIL PERFORMANSINA ETKİSİ

Beliz Karanfil<sup>1</sup>

Fatih Yazıcıoğlu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Güzel Sanatlar, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Tekirdağ, Türkiye

<sup>2</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye

## ÖZET

*Yapı kabuğu iç ile dış ortamı birbirinden ayıran, insan ve çevre arasında sınır oluşturan bir bariyerdir. Kullanıcı için elverişli bir yaşam ortamının oluşturulması için yapı kabukları ya fiziksel çevre koşullarını kontrol ederek ya da enerji harcayan mekanik sistemlerden yararlanarak sağlar. Binanın ısı performansını ısıtma ve soğutma yükleri ile ilişkilidir. Günümüzde enerjinin etkin kullanımının önem kazanmasıyla birlikte yapıların enerji performansının iyileştirilmesi gerekmektedir. Özellikle dış kaplamalar güneş ışınımı, sıcak, soğuk, rüzgar, yağmur, kar ve dolu gibi atmosferik koşullara doğrudan maruz kalmaktadır ve binanın ısı performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yapı kabuğunun enerji performansını arttırmak için kaplama malzemeleri ve cephe sisteminin geliştirilmesine yönelik birçok çalışma yapılmaktadır. Kullanılacak kaplama malzemesi özellikle güneşi soğurma ve yansıtma oranına bağlı olarak yapı kabuğunun ısı performansı üzerinde etkilidir. Bu çalışmada TS 825 standardına uygun olarak tasarlanmış güneşi soğurma oranı farklı cephe kaplama malzemeleri kullanılan yapı kabuklarının sıcak ve soğuk iklim bölgelerindeki enerji performansı incelenecektir. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak güneşi soğurma oranının bina enerji performansına etkisi değerlendirilecektir.*

*Anahtar sözcükler: Yapı Kabuğu, Cephe Kaplama Malzemeleri, Enerji Performansı, Güneşin soğurulması*

## ABSTRACT

*The building envelope is a barrier that separates the interior and exterior environment and creates a boundary between humans and the environment. Building envelopes either control the physical environmental conditions or use energy-consuming mechanical systems in order to provide a suitable environment for users. The thermal performance of the building is related to heating and cooling loads. Nowadays, as the efficient use of energy becomes more important, it is necessary to improve the energy performance of buildings. In particular, exterior coatings are directly exposed to atmospheric conditions such as solar radiation, heat, cold, wind, rain, and etc and has a significant impact on the thermal performance. Many studies are being carried out to develop coating materials and facade systems to increase the energy performance of the building envelope. The coating material has an impact on the thermal performance of the building envelope, especially depending on its solar absorption and reflection rate. In this study, the energy performance of building envelopes, which are coating materials with different solar absorption rates and designed in accordance with the TS 825 standard, in hot and cold climate regions will be examined and evaluated.*

*Key words: Building Envelope, facade Coating Materials, Energy Performance, Solar Absorptance*

<sup>1</sup> e-posta adresi: bkaranfil@nku.edu.tr

<sup>2</sup> e-posta adresi: fyazicioglu@gmail.com

## 1.GİRİŞ

Uluslararası literatürde “building envelope” olarak bahsedilen yapı kabuğu yapıyı dışarıdan çevreleyerek iç ortamı dış ortamdan ayırır [1, 2]. İçerisi ve dışarı kavramlarının oluşmasını da sağlar. Kullanıcı için gerekli iç ortam koşullarını sağlama, güvenliği sağlama ve estetik fonksiyonu bulunmaktadır. Temel çalışma prensibi insan ile dış ortam arasında fiziksel bir bariyer oluşturarak çevre koşullarının etkisini hafifletmek ve bir mikro klima oluşturmaktır. Yapı kabuğunun kullanıcı için elverişli konfor koşullarını sağlama amacıyla ısı, ışık ve ses gibi fiziksel çevre faktörlerini minimum enerji kullanarak kontrol etmesi beklenir [3]. Pasif sistemler ile kullanıcı için uygun bir ortam sağlanmadığı durumda enerji harcanarak ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma ile ilgili mekanik sistemlerden yararlanır. Bu nedenle yapı kabuklarının dış çevre koşullarının olumsuz etkisinden en az etkilenecek şekilde tasarlanması, mümkün olduğunca pasif sistemlerle önlem alınması ve mekanik sistemlere ihtiyacın azaltılması beklenir.

Günümüzde teknolojinin gelişmesi ile birçok alanda artan enerji ihtiyacı, kaynakların sınırlı olması ve binaların enerji tüketiminin fazla olması enerji korunumunu gündeme getirmektedir. Yapılan çalışmalar konutlarda ısı kaybının yaklaşık %40'nın dış duvarlarda olduğunu göstermektedir. Dış duvarlar genel olarak iç kaplama, çekirdek, yalıtım ve dış kaplamadan oluşur [4]. Her bir katmanın binanın enerji performansı üzerinde etkisi bulunmaktadır. Dış duvarlar sıcak ve soğuk gibi hava koşullarına karşı iç ortamı korumalıdır. Bina kabuğunda sıcaklık değişimleri ile ilgili gerekli önlemler alınmazsa iç ortam kışları çok soğuk ve yazları da çok sıcak olabilir [5]. Yapı kabuklarının günlük ve ani sıcaklık değişimlerinden en az etkilenecek iç ortamda kullanıcı için gerekli ısı konforu sağlama beklenir. Bu nedenle dış ortam ile iç ortam arasında ısı transferinin önlenmesi veya minimum düzeyde gerçekleşmesi gerekir. Isı transferi önlenemediği durumda da mekanik sistemlere ihtiyaç duyulur. Binanın ısı performansı kullanıcılar için uygun iç ortamın sağlanmasında harcanacak ısıtma ve soğutma yükleri üzerinde etkilidir. Özellikle dış kaplamalar yani cephe kaplamaları güneş ışınımı, sıcak, soğuk, rüzgar, yağmur, kar ve dolu gibi atmosferik koşullara doğrudan maruz kalmaktadır. Yapıların cephelerinde kullanılan ve aynı zamanda yapının dış görünüşünü de oluşturan kaplama malzemeleri ve cephe sistemleri farklılık göstermektedir. Cepheler kaplama malzemesine, tespit yöntemine, ısı yalıtımının bulunma durumuna ve katmanlaşmasına göre farklılık gösterir. Kaplama malzemesine göre kil esaslı, doğal ve yapay taş esaslı, ahşap esaslı çimento esaslı, metal esaslı, plastik esaslı ve cam giydirme cephe kaplama malzemeleri olarak sınıflandırılır. Rostorn, cephelerin karşı koyması gereken faktörleri; sıcak, soğuk, güneş ışığı, rüzgar, yağmur, kar, dolu, sulu kar, önlemesi gereken faktörler; haşere saldırıları, böcek ve haşere gibi beklenmeyen misafirlerin içeri ulaşması, yangının oluşturabileceği hasarlar, nemin absorbe edilmesi, dıştan içeri, içeriden dışarı veya her iki yönde de geçişini kontrol etmesi gerekenler; ısı, hava, ışık ve ses olarak belirtmiştir [6].

Cephe sistemindeki kaplama, ısı yalıtımı, çekirdek malzemesi ve katmanlaşmanın her birinin yapıların enerji performansı üzerinde çok önemli etkileri vardır. Kullanılan kaplama malzemesinin yoğunluğu, güneşi soğurması ve yansıtıcılığı, ısı yalıtım malzemesinin türü, konumu ve kalınlığı, kaplama ile yapı yüzeyi arasındaki boşluk, cephenin saydamlık oranı, kullanılan saydam elemanın çeşidi, yansıtıcılık oranı, ısı geçirgenliği, cephenin tek kabuklu veya çift kabuklu olma durumu, cephede gölgeleme elemanlarının kullanılma durumu gibi farklı parametrelere bağlı olarak binanın enerji performansı değişebilir. Bu nedenle mimarın cephe sistemi tasarlarırken malzeme seçimi ve sistem tasarımında seçici olması gerekir. Binaların sadece estetik yönüne değil enerji performansı



ve çevre üzerindeki etkisini de dikkate almalıdır. Enerji tüketimini azaltmak için binanın mimarisini de dahil ederek pasif çözümler kullanılabilir.

Literatürde cephe kaplama malzemelerinin yapıların enerji performansı üzerine etkisini inceleyen birçok çalışma yapılmıştır. Dabaus ve diğerleri araştırmasında farklı bina cephe kaplama sistemlerini analiz etmeye ve sıcak iklimlerde verimli cephe kaplama sistemini seçmek için sürdürülebilir tasarım yönergeleri geliştirmeye çalışmıştır [7]. Mehrpour ve diğerleri, soğutma ve ısıtma yüklerini en aza indirecek optimum çözümler elde edilmesi üzerine çalışmıştır [8]. Vakilinezhad ve Khabir, sıcak-kurak ve sıcak yarı-kurak iklimlerdeki tipik alçak konut binalarında retroreflektif ve termokromik kaplamalarla birleştirilmiş soğuk zarfların termal davranışını ve enerji performansını değerlendirilmesi üzerine çalışma gerçekleştirmiştir [9]. Wen ve diğerleri araştırmasında yüksek derecede yansıtıcı cephe malzemeleri kullanmanın çevredeki yapılara etkisini araştırmıştır [10]. Zinzi, yeni inşaatlarda ve bina yenilemede kullanılacak cephe uygulamalarına yönelik soğuk renkli malzemelerin karakterizasyonu ve değerlendirilmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir [11]. Powell ve diğerleri çalışmasında binanın cephesine monte edilen uyarlabilir yansıtıcı paneller aracılığıyla güneş ışığının yeniden yönlendirilmesinden yararlanılarak enerji ve konfor yönetimine olanak tanıyan yeni bir konsept önermiştir [12]. Ornam ve diğerleri cephe türlerinin termal davranışını termal absorpsiyon, termal kullanım, yansıma, yalıtım, gölgeleme elemanlarının kullanımı kavramlarına dayanarak incelemiştir [13]. Sonuç olarak literatürde cephenin yapının enerji performansına etkisine yönelik yapılan çalışmalar incelendiğinde cephenin geometrisi, farklı kaplama malzemesinden oluşan yapı kabuklarının performansı, cephede kullanılan malzemenin özelliklerinin geliştirilmesi, faz değiştiren malzemelerin kullanılması, kaplama malzemesinin güneşi soğurması ve çevre binalar üzerindeki etkisi, kaplama malzemesinin güneşi soğurma özelliğinin kentsel ısı adasına etkisi, havalandırmalı cephe sistemleri, soğuk cephe sistemleri, cephelerin saydamlık oranı, çift kabuklu cepheler, cephede güneş kontrol elemanlarının ve PV panellerin kullanılması, cam cephelerin sıcak ve soğuk iklimdeki performansları, açıklıklar ve gölgeleme elemanları üzerine optimizasyon çalışmaları, kaplama malzemesinin özelliklerinin değiştirilmesi ve yeni malzemelerin geliştirilmesi gibi konular üzerine çalışmalar yapıldığı görülmüştür.

Cephe yüzeyine gelen güneş ışınımının bir kısmı yüzey tarafından soğurulur bir kısmı da yansıtılır. Güneşi soğurma ve yansıtma oranı toplamı 1'dir. Güneş ışınımının yansıması konum, yönlenme, bina geometrisi ve malzemesi gibi birçok parametreden etkilenir. Dış çevre koşullarının karşılaştığı ilk fiziksel bariyer olan cephe kaplama malzemesinin bu koşullara dayanıklı olması beklenir. Yapı kabuğunun ısı performansını açısından özellikle kaplama malzemesinin güneşi soğurma ve yansıtma özellikleri önemli bir etkiye sahiptir [14]. Kaplamanın rengi, dokusu ve yüzey özelliklerine bağlı olarak güneşi soğurma oranları farklılık gösterir. Kaplama malzemesinin güneş ışınlarını soğurmasını etkileyen unsurlar renk, yüzeyin mat veya parlak olması, dokusunun düz veya pürüzlü olmasıdır. Bu unsurların değiştirilmesi sonucunda binaların enerji yükleri azaltılıp performansı iyileştirilebilir. Binaların enerji performansını arttırmak için bulunan iklim bölgesine bağlı olarak güneşten gelen ışınların emilimi veya yansıması arttırmak istenir. Böylece iç ortamın aşırı ısınmasının ya da iç ortamdaki ısı kayıplarının önlenmesi amaçlanır. Sıcak iklim bölgelerinde güneşin iç ortam sıcaklığını arttırması istenmezken soğuk iklim bölgelerinde ise güneş ışınlarından maksimum yararlanmak istenir. Buna bağlı olarak da yapıların cephelerinde kullanılan malzeme seçiminde dikkat edilir. Cephenin yönüne ve iklime bağlı olarak malzeme özelliklerinin değişmesi, sıcak iklim bölgelerinde cephede güneşi soğurma oranı düşük kaplama malzemeleri kullanılması, güneş kontrol elemanları kullanılması, kaplama üzerine işlem uygulanarak güneşi soğurma

oranının değiştirilmesi gibi farklı yaklaşımlar hem yeni yapılarda hem de mevcut yapılarda uygulanmaktadır. Örneğin sıcak iklim bölgelerinde genellikle yansıtıcılığı yüksek beyaz gibi açık renkler kullanılırken soğuk iklim bölgelerinde kışın emiciliği yüksek koyu renklerin kullanılması enerji etkinliğini iyileştirecektir.

Günümüzde mimarların çekici cepheler elde etmek için cam ve metal kaplamalara büyük ilgi gösterdiği görülmektedir. Fakat binaların dış cephesinde kullanılan bu malzemeler düşük güneşi soğurma oranlarına sahiptirler. Bu durum çevredeki binaların termal ve görsel konfor koşullarını olumsuz yönde etkileyebilir [15]. Bina enerji tüketimini etkilemenin yanı sıra, bina yüzeylerinden gelen yansımaların dış mekan termal ortamını da etkilediği birçok çalışma ile kanıtlanmıştır [16]. Aynı zamanda çevre yapıları ve insanları olumsuz olarak etkileyebilirler. Disney Konser Binası, Las Vegas'taki Vdara Oteli ve Walkie-Talkie Gökdeleni cephe kaplama malzemesinin güneş ışığını yansıtmasına bağlı olarak çevresinde problem oluşturan yapılara örnektir. Disney Konser Salonun paslanmaz çelik cephe kaplama malzemesinin, güneş ışığını çevredeki dairelere yansıttığı, komşu apartman binalarda sıcaklık artışı olduğu ve bu durumun çevredeki daire sakinleri klima açmaya zorladığı belirtilmiştir [17]. Las Vegas'taki Vdara Oteli'nin iç bükey forma ve yüksek oranda yansıtıcı cam cepheye sahiptir. Cepheye gelen güneş ışınlarını otelin havuzunu yansıtması sonucunda havuzdaki insanların cildinde yanma ve tahriş meydana gelmiştir [18]. Bu durumun nedeni yapının formu ve cam malzemenin yüksek oranda yansıtıcılığa sahip olması olarak ifade edilmiştir. BBC News, Londra'daki Walkie-Talkie gökdeleninin yol açtığı güneş ısısı kazanımları nedeniyle eriyen arabaların maddi hasar oluştunu bildirilmiştir [19]. Bir diğer olumsuz ve önlenmesi gereken durum ise cephede kullanılan kaplama malzemesinin aşırı ısınması ve ısıl gerilmelere bağlı hareketlerden kaynaklanan hasarlardır. Bu nedenle kaplama olarak kullanılacak malzemenin çeşidi ve rengi önemlidir [20]. Cephe kaplama malzemesinin güneşi soğurma oranlarının binaların enerji performansı etkilediği gibi çevredeki binaları ve kullanıcıları da etkilediği görülmektedir.

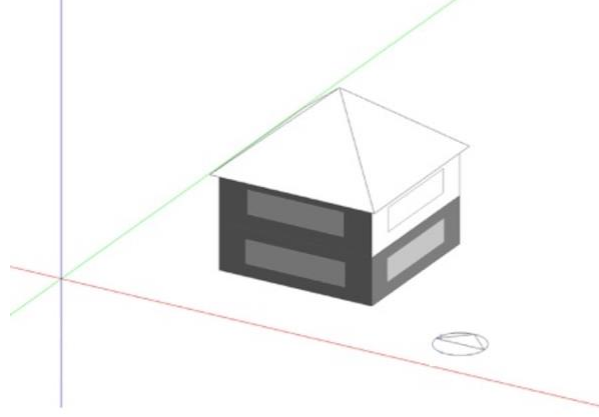
Bu çalışmada sıcak ve soğuk iklim bölgelerinde cephe kaplama malzemesinin güneşi soğurma oranının yapının enerji performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Konut olarak kullanılan bir bina için farklı güneşi soğurma oranlarına sahip yapı kabuklarının sıcak ve soğuk iklim bölgelerindeki yıllık enerji yükleri hesaplanmıştır. Kaplama malzemesinin güneşi soğurma oranının sıcak ve soğuk iklim bölgesi için enerji yüklerine nasıl etkileri olduğu tespit edilerek araştırmanın çıktıları olarak sunulmuştur.

## 2. YÖNTEM

Çalışmada cephe kaplama malzemesi olarak sıva ve boya seçilmiştir. Kaplama malzemesinin güneşi soğurma oranının etkisinin karşılaştırılması amacıyla sıcak iklim bölgesi için 9 ve soğuk iklim bölgesi için 9 olmak üzere toplam 18 farklı yapı kabuğu alternatifleri üretilmiştir. Cephe kaplama malzemesinin güneşi soğurma (solar absorptance) oranının yapı kabuğunun ısıl performansı üzerindeki etkisini incelemek için güneşi soğurma oranları 0,1'den 0,9'a kadar 0,1 birim artacak şekilde 9 farklı oran belirlenmiştir. Sıcak iklim bölgesi için Diyarbakır ve soğuk iklim bölgesi için Erzurum seçilerek Design Builder simülasyon programı kullanılarak ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri hesaplanmıştır. Çalışma sonuçları değerlendirilerek güneşi soğurma oranının sıcak ve soğuk iklim bölgelerinde yapının enerji yüklerine etkisi incelenmiştir.

## 2.1. Mekâna İlişkin Bilgiler

Çalışmada 10 metre genişliği, 10 metre derinliği ve 3 metre yüksekliği bulunan 2 katlı bir konut binası incelenen tüm yapı kabuğu alternatiflerinde sabit hacim olarak kabul edilmiştir. Saydamlık oranı %30 olarak alınmıştır. Yönlenme durumu **Şekil 1**'de gösterilmiştir.



**Şekil 1:** Simülasyon programında veri olarak kullanılan hacim

## 2.2. Design Builder Simülasyon Programına İlişkin Bilgiler

Enerji yüklerinin hesaplanması için Design Builder Simülasyon programı kullanılmıştır. Hacim bir konut olarak düşünülmüştür. Diyarbakır ve Erzurum'a ait meteorolojik veri dosyaları Design Builder programına ilişkin veri tabanından yüklenmiştir [21]. Simülasyon programında hesaplamalar yıllık olarak yapılmıştır. Bütün iklim bölgelerinde aynı kabul edilecek simülasyon ile ilgili bilgiler belirlenmiştir (**Çizelge 1**). İç ortam konfor sıcaklığı ısıtma için 21 °C, soğutma için ise 25 °C olarak kabul edilmiştir. İç ortam sıcaklığı 16 °C altına düştüğünde ısıtma sistemlerinin, 28 °C üstüne çıktığında soğutma sistemlerinin devreye gireceği kabul edilmiştir. Bütün hacimlerin doğalgaz ile ısıtıldığı ve elektrik ile soğutulduğu kabul edilmiştir. Doğal havalandırma açık, mekanik havalandırma kapalı, aydınlatma kontrolü açık ve stepped olarak seçilmiştir.

**Çizelge 1:** Simülasyon Programına Girilen Veriler

Konum	Diyarbakır, Erzurum
Aktivite Düzeyi	Konut Alanı – Ev içi dolaşım
Yoğunluk (kişi/m <sup>2</sup> )	0,04
Isıtma set point	21 °C
Isıtma set back point	16 °C
Soğutma set point	25 °C
Soğutma set back point	28 °C
Doğal Havalandırma	Açık – min 24 °C
Mekanik havalandırma	Kapalı
Aydınlatma Kontrolü	On - Stepped

### 2.3. Yapı Kabuğu Alternatifleri

Cephe kaplama malzemesinin yapının enerji performansına etkisini incelemek için kaplama malzemesi olarak sıva ve boya seçilmiştir. Oluşturulan yapı kabuğu alternatiflerinde iç kaplama malzemesi, çekirdek malzemesi ve ısı yalıtım malzemesi aynı tutulmuş sadece iklim bölgelerine bağlı olarak ısı yalıtım malzemesinin kalınlığı değişebilmektedir (Çizelge 2, Çizelge 3). Türkiye Isı Yalıtım Kuralları TS 825 veri olarak kullanılmıştır. Yapı kabukları için sağlanması gereken toplam ısı geçirme katsayısı standartta belirtilen değerlere göre hesaplanmıştır. TS 825'e göre sıcak iklim bölgesi olarak seçilen şehir Diyarbakır'da duvar kabuğu için sağlanması gereken toplam ısı geçirme katsayısı 0,57 W/m<sup>2</sup>.K, soğuk iklim bölgesi olarak seçilen Erzurum'da duvar kabuğu için sağlanması gereken ısıl geçirgenlik katsayısı 0,36 W/m<sup>2</sup>.K olarak belirtilmiştir. Yapı kabuğu alternatiflerindeki ısı yalıtım malzemesinin kalınlığı, standartta yapı elemanları için belirtilen toplam ısı geçirme katsayısının sağlayacak şekilde belirlenmiştir. Cephe kaplama malzemesinin güneşi soğurma oranının yapının enerji yükleri üzerindeki etkisini incelemek için 0,1'den 0,9'a kadar farklı 9 farklı oran için yapı kabuğu alternatifleri oluşturulmuştur (Çizelge 4, Çizelge 5).

Çizelge 2: Sıcak iklim bölgesi için farklı cephe kaplama malzemesine ait kabuk alternatifleri

Kabuk Kodu	Katmanlar	Kalınlık d (m)	Isıl İletkenlik $\lambda$ (W/m.K)	Özgül Isı c (J/kgK)	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Toplam Isı Geçirme Katsayısı U (W/m <sup>2</sup> .K)	Yapı kabuğu kesiti
F	İç Sıva	0,02	0,800	960	1600	0,565	
	Yatay delikli tuğla	0,19	0,420	840	900		
	Çimento Harçlı Sıva	0,03	1,600	840	2000		
	Isı Yalıtım Levhası	0,05	0,047	840	92		
	Dış Sıva + Boya	0,02	0,510	960	1200		

Çizelge 3: Soğuk iklim bölgesi için farklı cephe kaplama malzemesine ait kabuk alternatifleri

Kabuk Kodu	Katmanlar	Kalınlık d (m)	Isıl İletkenlik $\lambda$ (W/m.K)	Özgül Isı c (J/kgK)	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Toplam Isı Geçirme Katsayısı U (W/m <sup>2</sup> .K)	Yapı kabuğu kesiti
G	İç Sıva	0,02	0,800	960	1600	0,353	
	Yatay delikli tuğla	0,19	0,420	840	900		
	Çimento Harçlı Sıva	0,03	1,600	840	2000		
	Isı Yalıtım Levhası	0,10	0,047	840	92		
	Dış Sıva + Boya	0,02	0,510	960	1200		

Çizelge 4: Sıcak iklim bölgesi için farklı güneş soğurma katsayısına sahip cephe kaplama malzemesine ait kabuk alternatifleri

Kabuk Kodu	Kalınlık d (m)	Özgül Isı c (J/kgK)	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Güneşi Soğurma Oranı	Yansıtıcılık	Toplam Isı Geçirme Katsayısı U (W/m <sup>2</sup> .K)
F01	0,02	960	1200	0,1	0,9	0,565
F02	0,02	960	1200	0,2	0,8	0,565
F03	0,02	960	1200	0,3	0,7	0,565
F04	0,02	960	1200	0,4	0,6	0,565
F05	0,02	960	1200	0,5	0,5	0,565
F06	0,02	960	1200	0,6	0,4	0,565
F07	0,02	960	1200	0,7	0,3	0,565
F08	0,02	960	1200	0,8	0,2	0,565
F09	0,02	960	1200	0,9	0,1	0,565

Yapı kabuğu alternatiflerinde aynı iklim bölgeleri için iç kaplama, çekirdek, yalıtım ve kaplama malzemesi ve kalınlık aynı kabul edilmiş, kaplama malzemelerinin sadece güneşi soğurma oranları farklıdır.

**Çizelge 5:** Soğuk iklim bölgesi için farklı güneş soğurma katsayısına sahip cephe kaplama malzemesine ait kabuk alternatifleri

Kabuk Kodu	Kalınlık d (m)	Özgül Isı c (J/kgK)	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Güneşi Soğurma Oranı	Yansıtıcılık	Toplam Isı Geçirime Katsayısı U (W/m <sup>2</sup> .K)
G01	0,02	960	1200	0,1	0,9	0,353
G02	0,02	960	1200	0,2	0,8	0,353
G03	0,02	960	1200	0,3	0,7	0,353
G04	0,02	960	1200	0,4	0,6	0,353
G05	0,02	960	1200	0,5	0,5	0,353
G06	0,02	960	1200	0,6	0,4	0,353
G07	0,02	960	1200	0,7	0,3	0,353
G08	0,02	960	1200	0,8	0,2	0,353
G09	0,02	960	1200	0,9	0,1	0,353

### 3. YAPI KABUĞU ALTERNATİFLERİNİN SICAK VE SOĞUK İKLİM BÖLGELERİNDEKİ ENERJİ YÜKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

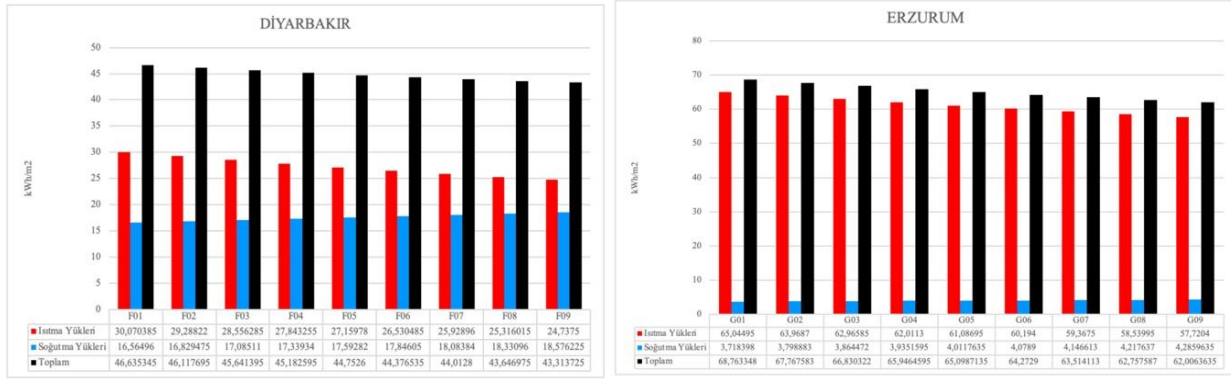
Design Builder programı ile Diyarbakır ve Erzurum için yapı kabuğu alternatiflerinin yıllık ısıtma, soğutma ve toplam yükleri hesaplanmış ve sonuçlar sunulmuştur. Cephe kaplama malzemesinin güneşi soğurma oranına bağlı olarak yapı kabuğu alternatiflerinin sıcak ve soğuk iklim bölgelerindeki yükleri değerlendirilmiştir.

#### 3.1. Farklı güneş soğurma oranına sahip cephe kaplama malzemesine sahip yapı kabuklarının sıcak ve soğuk iklim bölgelerindeki enerji yüklerinin değerlendirilmesi

Sıcak iklim bölgesi olan Diyarbakır için yapılan simülasyonlarda yıllık ısıtma yükleri en az olan yapı kabuğu F09, en fazla olan F01'dir (**Çizelge 6**). Metrekare başına düşen yıllık ısıtma yükleri sırasıyla 24,74 kWh/m<sup>2</sup> (F09), 25,32 kWh/m<sup>2</sup> (F08), 25,93 kWh/m<sup>2</sup> (F07), 26,53 kWh/m<sup>2</sup> (F06), 27,16 kWh/m<sup>2</sup> (F05), 27,84 kWh/m<sup>2</sup> (F04), 28,56 kWh/m<sup>2</sup> (F03), 29,29 kWh/m<sup>2</sup> (F02) ve 30,07 kWh/m<sup>2</sup> (F01)'dir. Isıtma yükü en fazla olan yapı kabuğu ile en az olan arasındaki fark 1066,58 kWh ve metrekare başına 5,33 kWh/m<sup>2</sup>. Diyarbakır için yıllık soğutma yükleri en az olan yapı kabuğu F01, en fazla olan F09'dur. Metrekare başına düşen yıllık soğutma yükleri sırasıyla 16,56 kWh/m<sup>2</sup> (F01), 16,83 kWh/m<sup>2</sup> (F02), 17,09 kWh/m<sup>2</sup> (F03), 17,34 kWh/m<sup>2</sup> (F04), 17,59 kWh/m<sup>2</sup> (F05), 17,85 kWh/m<sup>2</sup> (F06), 18,08 kWh/m<sup>2</sup> (F07), 18,33 kWh/m<sup>2</sup> (F08) ve 18,58 kWh/m<sup>2</sup> (F09)'dir. Soğutma yükü en fazla olan yapı kabuğu ile en az olan arasındaki fark 402,25 kWh ve metrekare başına 2,01 kWh/m<sup>2</sup>. Simülasyon sonuçlarına göre Diyarbakır ili için yıllık toplam ısıtma ve soğutma yükü en az olan yapı kabuğu F09'dur. Bunu sırasıyla F08, F07, F06, F05, F04, F03, F02 ve F01 yapı kabukları izlemektedir. Metrekare başına düşen yıllık ısıtma ve soğutma yükleri toplamı sırasıyla 43,31 kWh/m<sup>2</sup> (F09), 43,65 kWh/m<sup>2</sup> (F08), 44,01 kWh/m<sup>2</sup> (F07), 44,38 kWh/m<sup>2</sup> (F06), 44,75 kWh/m<sup>2</sup> (F05), 45,18 kWh/m<sup>2</sup> (F04), 45,64 kWh/m<sup>2</sup> (F03), 46,12 kWh/m<sup>2</sup> (F02) ve 46,64 kWh/m<sup>2</sup> (F01)'dir. Diyarbakır için toplam ısıtma ve soğutma yükü en fazla olan yapı kabuğu ile en az olan arasındaki fark 664,32 kWh ve metrekare başına 3,32 kWh/m<sup>2</sup> (**Çizelge 6**).

Sıcak iklim bölgesindeki kabuk alternatiflerinde değişen parametre olarak güneş ışığını soğurma oranları alınmıştır. Yapı kabuklarının bunun dışındaki tüm özellikleri aynı seçilmiştir. Sıcak iklim bölgesi için oluşturulan kabuk alternatiflerinin enerji yüklerine göre sıralanmasında ısıtma ve toplam yükler benzer bir sıralama gösterirken soğutma yükleri tam tersi bir sıralama göstermiştir. Kaplama malzemesinin güneşi soğurma oranı arttıkça ısıtma ve toplam yükler azalırken soğutma yükleri artmıştır. Diyarbakır için incelenen kabuk alternatiflerinde ısıtma yüklerinin soğutma yüklerinden yüksek olduğu görülmektedir.

**Çizelge 6.** Güneş soğurma oranı farklı olan cephe kaplama malzemelerine sahip yapı kabuklarının Diyarbakır ve Erzurum için metrekare başına düşen yıllık enerji yükleri



Soğuk iklim bölgesi olan Erzurum için yapılan simülasyonlarda yıllık ısıtma yükleri en az olan yapı kabuğu G09, en fazla olan G01'dir (**Çizelge 6**). Metrekare başına düşen yıllık ısıtma yükleri sırasıyla 57,72 kWh/m<sup>2</sup> (G09), 58,54 kWh/m<sup>2</sup> (G08), 59,37 kWh/m<sup>2</sup> (G07), 60,19 kWh/m<sup>2</sup> (G06), 61,09 kWh/m<sup>2</sup> (G05), 62,01 kWh/m<sup>2</sup> (G04), 62,97 kWh/m<sup>2</sup> (G03), 63,97 kWh/m<sup>2</sup> (G02) ve 65,04 kWh/m<sup>2</sup> (G01)'dir. Isıtma yükü en fazla olan yapı kabuğu ile en az olan arasındaki fark 1464,91 kWh ve metrekare başına 7,32 kWh/m<sup>2</sup>. Erzurum için yıllık soğutma yükleri en az olan yapı kabuğu G01, en fazla olan G09'dur. Metrekare başına düşen yıllık soğutma yükleri sırasıyla 3,72 kWh/m<sup>2</sup> (G01), 3,80 kWh/m<sup>2</sup> (G02), 3,86 kWh/m<sup>2</sup> (G03), 3,94 kWh/m<sup>2</sup> (G04), 4,01 kWh/m<sup>2</sup> (G05), 4,08 kWh/m<sup>2</sup> (G06), 4,15 kWh/m<sup>2</sup> (G07), 4,22 kWh/m<sup>2</sup> (G08) ve 4,29 kWh/m<sup>2</sup> (G09)'dir. Soğutma yükü en fazla olan yapı kabuğu ile en az olan arasındaki fark 113,51 kWh ve metrekare başına 0,57 kWh/m<sup>2</sup>. Simülasyon sonuçlarına göre Erzurum ili için yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerji yükü en az olan yapı kabuğu F09'dur. Bunu sırasıyla G08, G07, G06, G05, G04, G03, G02 ve G01 yapı kabukları izlemektedir. Metrekare başına düşen yıllık ısıtma ve soğutma yükleri toplamı sırasıyla 62,01 kWh/m<sup>2</sup> (G09), 62,76 kWh/m<sup>2</sup> (G08), 63,51 kWh/m<sup>2</sup> (G07), 64,27 kWh/m<sup>2</sup> (G06), 65,10 kWh/m<sup>2</sup> (G05), 65,95 kWh/m<sup>2</sup> (G04), 66,83 kWh/m<sup>2</sup> (G03), 67,77 kWh/m<sup>2</sup> (G02) ve 68,76 kWh/m<sup>2</sup> (G01)'dir. Erzurum için toplam ısıtma ve soğutma yükü en fazla olan yapı kabuğu ile en az olan arasındaki fark 1351,40 kWh ve metrekare başına 6,76 kWh/m<sup>2</sup> (**Çizelge 6**).

Soğuk iklim bölgesinde de kabuk alternatiflerinde değişen parametre olarak güneş ışığını soğurma oranları alınmıştır. Yapı kabuklarının bunun dışındaki tüm özellikleri aynı seçilmiştir. Soğuk iklim bölgesi için oluşturulan kabuk alternatiflerinin enerji yüklerine göre sıralanmasında ısıtma ve toplam yükler benzer bir sıralama gösterirken soğutma yükleri tam tersi bir sıralama göstermiştir. Kaplama malzemesinin güneşi soğurma oranı arttıkça ısıtma ve toplam yükler azalırken soğutma yükleri artmıştır. Erzurum için incelenen kabuk alternatiflerinde ısıtma yüklerinin soğutma yüklerinden yüksek olduğu görülmektedir.

## 4. SONUÇLAR

Yapı kabuğunun düşey elemanı olan cephelerin kaplamaları fiziksel çevre koşullarına doğrudan maruz kalırlar. Bu nedenle binaların enerji performansında kaplama malzemesinin önemli bir etkisi bulunmaktadır. Bu çalışmada farklı güneşi soğurma oranlarının sıcak ve soğuk iklim bölgelerindeki yapıların enerji performansına etkisini incelenmiştir. Sonuçta:

- Cephe kaplama malzemesinin binanın enerji yükleri üzerinde etkisi olduğu tespit edilmiştir. İç kaplama, çekirdek, ısı yalıtım malzemesi ve kalınlığı aynı olan yapı kabuklarının kaplama malzemesinin özelliğine bağlı olarak enerji yüklerinin farklılık gösterdiği tespit edilmiştir.
- Sıcak ve soğuk iklim bölgelerine bağlı olarak aynı kaplama malzemesine sahip yapı kabuklarının farklı performans sergilediği görülmüştür.
- Cephe kaplama malzemesinin güneşi soğurma oranının yapının enerji yükleri üzerinde önemli ölçüde etkilediği görülmüştür.
- Her iki iklim bölgesinde de kaplama malzemesinin güneşi soğurma oranı arttıkça ısıtma yüklerinin ve toplam yüklerin azaldığı, soğutma yüklerinin arttığı tespit edilmiştir.
- Güneşi soğurma oranının ısıtma yükleri üzerindeki etkisinin Erzurum'da daha fazla olduğu görülmüştür. Güneşi soğurma oranı 0,1 ve 0,9 olan kaplama malzemesi arasında metrekare başına ısıtma yüklerinde Erzurum'da 7,32 kWh/m<sup>2</sup> ve Diyarbakır'da 5,33 kWh/m<sup>2</sup> fark vardır. Soğutma yükleri üzerindeki etkisinin Diyarbakır'da daha fazla olduğu görülmüştür. Güneşi soğurma oranı 0,1 ve 0,9 olan kaplama malzemesi arasında metrekare başına soğutma yüklerinde Diyarbakır'da 2,01 kWh/m<sup>2</sup> ve Erzurum'da 0,57 kWh/m<sup>2</sup> fark vardır. Güneşi soğurma oranının ısıtma ve soğutma yükleri toplamı üzerindeki etkisinin Erzurum'da daha fazla olduğu görülmüştür. Güneşi soğurma oranı 0,1 ve 0,9 olan kaplama malzemesi arasında metrekare başına toplam yükler arasında Diyarbakır'da 3,32 kWh/m<sup>2</sup> ve Erzurum'da 6,76 kWh/m<sup>2</sup> fark vardır.
- Diyarbakır ve Erzurum'da 18 alternatif yapı kabuğunun enerji yükleri incelendiğinde her iki bölgede de ısıtma yüklerinin soğutma yüklerinden fazla olduğu görülmüştür.

## KAYNAKLAR

1. N. Baker, "The Handbook of Sustainable Refurbishment: Non-Domestic Buildings", CRC Press LLC, London, (2009).
2. A. Syed, "Advanced Building Technologies for Sustainability", John Wiley & Sons, Hoboken, (2012).
3. G. K. Oral, A. K. Yener, ve N. T. Bayazit, "Building envelope design with the objective to ensure thermal, visual and acoustic comfort conditions", *Build Environment*, 39, (2004), pp: 281–287.
4. N. Toydemir, E. Gürdal, ve L. Tanaçan, *Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme (3. Basım)*, Literatür Yayıncılık, İstanbul, (2011).

5. F. Nashed, *Time-Saver Details for Exterior Wall Design*, McGraw- Hill, New York, (1996), pp:21.
6. M. Rostorn, *Light Cladding of Buildings*, Architectural Press, London, (1964), pp:43.
7. S.S. Dabous, T. Ibrahim, S. Shareef, E. Mushtaha, ve I. Alsyof, “Sustainable façade cladding selection for buildings in hot climates based on thermal performance and energy consumption”, *Results in Engineering*, 16, (2022), pp:100643.
8. Y. Mehrpour, A. Balali, A. Valipour, A. Yunusa-Kaltungo, ve S.A. Shamsnia, “Envelope design optimisation for residential net zero energy buildings within cold and semi-arid climate: A case study of Shiraz”, *Energy for Sustainable Development*, 78, (2024), pp:101352.
9. R. Vakilinezhad, ve S. Khabir, “Evaluation of thermal and energy performance of cool envelopes on low-rise residential buildings in hot climates”, *Journal of Building Engineering*, 72, (2023), pp:106643.
10. J. Wen, M. Ignatius, E. X. Chen, ve N. H. “Wong, Impacts of a highly reflective stainless-steel façade on a surrounding building: A case study in Singapore”, *Sustainable Cities and Society*, 90, (2023), pp: 104377.
11. M. Zinzi, “Characterisation and assessment of near infrared reflective paintings for building facade applications”, *Energy and Buildings*, 114, (2016), pp: 206-213.
12. D. Powell, I. Hischier, P. Jayathissa, B. Svetozarevic, ve A. Schlüter , “A reflective adaptive solar façade for multi-building energy and comfort management”, *Energy Buildings*, 177, (2018), pp: 303-315.
13. K. Ornam, S. Wonorahardjoc, ve S. Triyadic, “Several façade types for mitigating urban heat island intensity”, *Building and Environment*, 248, (2024), pp: 111031.
14. Altındağ, R., İ. Uğur, N. Şengün, D. Akbay, S. Demirdağ, A. Coşkun ve M. Sert, “Karbonat kökenli bazı doğal taşların yüzey özelliklerine bağlı olarak güneş ışığını yansıtma indeks değerlerindeki değişimin incelenmesi”, *Bilimsel Madencilik Dergisi, Özel Sayı*, (2018), pp: 129-134.
15. N. J. Shih, ve Y. S. Huang, “An analysis and simulation of curtain wall reflection glare”, *Building and Environment*, 36 (5), (2001), pp: 619–626.
16. S. Tsoka, A. Tsikaloudaki, ve T. Theodosiou, “Analyzing the ENVI-met microclimate model’s performance and assessing cool materials and urban vegetation applications—a review”, *Sustainable Cities and Society*, 43, (2018), pp: 55–76.
17. Los Angeles Times. 2004. Whose bright idea was this?. Erişim: 21 Ocak 2024, <https://www.latimes.com/archives/la-xpm-2004-feb-21-me-disney21-story.html>.
18. NBC News, 2010. ‘Death ray’ at Vegas hotel pool heats up guests. Erişim: 21 Ocak 2024, <https://www.nbcnews.com/id/wbna39403349>.
19. BBC News. 2013. ‘Walkie-Talkie’ skyscraper melts Jaguar car parts. Erişim: 21 Ocak 2024, <https://www.bbc.com/news/uk-england-london-23930675>
20. K. Hoffmann, H. Griese, ve W. M. Bohe, *Designing Architectural Facades : An Ideas File For Architects*, Whitney Library of Design, New York, (1975).
21. Climate One Building Climate: Data Files Erişim: 21 Ocak 2024, [https://climate.onebuilding.org/WMO\\_Region\\_6\\_Europe/TUR\\_Turkey/index.html](https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_6_Europe/TUR_Turkey/index.html)



## **YAPI YÜZÜ RENK DÜZENLEMELERİ VE BİR ÖRNEKLEME**

F. Rengin Ünver<sup>1</sup>  
YTÜ Mimarlık Fakültesi  
Beşiktaş, İstanbul, 34349

### **ÖZET**

*Yapılar, küçük ölçekte yan yana dizildiği sokakların, çevrelediği meydanların, büyük ölçekte belirli bir yerleşim bölgesinin algulamasında önceliği olan kent elemanlarıdır. Bu nedenle, yapıların fiziksel özellikleri (boyut, konum, biçim) ve mimari üsluplarının yanı sıra renksel özellikleri de, içinde yer aldıkları sokağa, meydana, kent bölgesine özgü bir kimlik kazandırılması bakımından büyük önem taşır. Görsel açıdan anlamlı, çekici kent görünümleri yaratabilmek için yapı yüzü renk düzeni, yapı ölçeğinde, yapının kendi özelliklerini vurgulayacak, yerleşim ölçeğinde ise yapının içinde yer aldığı çevrenin özelliklerine, mimari karakterine ve renk düzenine uygun nitelikler taşıyacak biçimde düzenlenmeli, tasarlanmalıdır. Belirtilen doğrultuda, yapı yüzü renk düzenlemeleri kurgulanırken, doğal ve yapay çevrenin özellikleri, toplumun sosyo-kültürel yapısı, doğal ve geleneksel yapı malzemeleri vb. tasarımı yönlendirebilecek çeşitli etkenler dikkatle incelenmelidir. Bu bildiride, yeni tasarlanan ya da mevcut bir sokağın/yerleşimin/kentte yer alan yapının/yapıların renk düzenlemesi yapılırken (renk düzeni ve düzende kullanılacak renkler seçilirken) yararlanılabilecek "genel renk tasarım ilkeleri" nin aktarılması, yapı yüzü renk tasarım sürecindeki aşamaların açıklanması hedeflenmiştir. Bildiride ayrıca, bu sürecin örnekleme olarak İstanbul-Fatih ilçesi Kiremit Caddesi ve Çevresi Cephe Rehabilitasyon çalışmaları kapsamındaki yapı yüzü renk düzenleme çalışmalarına da yer verilmiştir.*

*Anahtar sözcükler: Renk, Renk Düzenleri, Yapı Yüzü Renk Tasarım.*

### **ABSTRACT**

*Buildings are city elements that have priority in the perception of the streets on a micro scale and a certain settlement area on a macro scale. Therefore, the physical properties, color characteristics and architectural style of the buildings are of great importance in terms of giving a unique identity to the street, square and city region. In order to create visually meaningful and attractive settlements, the façade colors should be designed to emphasize the building's own characteristics at the building scale. And also, it should be appropriate to the characteristics of the environment, architectural features and colors, at the settlement scale. In this context, while the colors of the facade are designed, the specifications of the natural and artificial environment, the socio-cultural structure of the society, building materials, etc. are taken into consideration. The aim of this paper is to give the "general color design principles" that can be used when color arrangement of a newly designed or existing street/settlement/building(s) in the city and to explain the stages in the color design process of the building facade. The paper also included the building facade color studies within the scope of the Facade Rehabilitation works of Kiremit Street in Istanbul-Fatih district, as an example of this process.*

*Key words: Color, Color Arrangements, Building Facade Color Design.*

---

<sup>1</sup> e-posta adresi: renginunver@gmail.com

## 1. GİRİŞ

İnsanoğlunun yerleşik düzene geçmesi ile değişik ölçekli yerleşim birimleri oluşmaya başlamıştır. Farklı ölçekteki bu yerleşimlerin tümünde barınma, çalışma, eğlenme, dinlenme, ulaşım gibi yaşamın devam ettirebilmesi için gerekli eylemler gerçekleştirilir. Bu bağlamda her yerleşim birimine özgü “çevresel öğeler ve “yapısal öğeler” ile yerleşimin kendi kimliği ortaya çıkarır. Çevresel öğeler kentin topografyası, iklimsel koşulları, bitki örtüsü, vb. doğal öğeler ile yerleşimdeki sokak, meydan gibi insan yapısı öğelerden oluşur. Yapısal öğeler ise konut, ofis, ticaret, vb. değişik işlevli binalar olarak sıralanabilir.

Çevresel ve yapısal öğeler, yaşadığımız yerleşimin ve ait olduğumuz toplumun adeta bir aynasıdır. Kuban’a göre bunlar, yalnızca boyut ve biçimleriyle değil, yarattıkları mekânsal dizilim ve boşluklarla da kente kimlik kazandıran ve kentin yapılı fiziksel çevresini de etkileyen öğelerdir [1]. Lynch’e göre bir mekanın kimliği, mekanın öteki mekan ve yerlerden ayrı bir varlık olarak tanınabilmesini ve ayırt edilebilmesini sağlamaktadır [2]. Konu bu bakış açısı ile ele alındığında, bir yerleşimin sokaklarında, meydanlarında konumlanmış yapısal öğelere ilişkin mimari özelliklerin kent kimliğinin yaratılmasında en önemli rolü üstlendiği açıktır. Yapılar, küçük ölçekte yan yana dizildiği sokakların, çevrelediği meydanların, büyük ölçekte belirli bir yerleşim bölgesinin algılamasında önceliği olan kent elemanlarıdır. Bu nedenle, binaların fiziksel görünüşleri (boyut, konum, biçim) ve mimari üsluplarının yanı sıra, fizik ortam öğelerinden biri olan cephelerinin renksel özellikleri de, içinde yer aldıkları sokağa, meydana, kent bölgesine özgü bir kimlik kazandırılması bakımından büyük önem taşır [3].

Yapı yüzünde, yapı cephesinde renk kullanımı açısından 19. yüzyıla kadar genelde, ahşap, taş vb. yöresel doğal malzemelerin renksel özellikleri belirleyici olmuştur. Günümüzde ise yapı malzemesi ve boya seçeneklerinin çoğalması ile yapı yüzü renkleri bakımından büyük bir çeşitlilik sağlanmış, istenilen herhangi bir renkteki malzemenin kullanımı olanaklı olmuştur [4]. Renksel açıdan ortaya çıkan bu çeşitliliğin, kullanım ve tasarım olanaklarına rağmen, günümüzde yapı yüzü renk tasarımı konusuna pek yansımadağı, tasarımın en güçlü öğelerinden ve etkenlerinden biri olan rengin genelde göz ardı edildiği de söylenebilir. Bu konu, mimar ve yazar Sir Hugh Cassons tarafından “Bilim adamları ve sanatçılar rengi profesyonel bir gizem haline getiriyorlar. Mimarlar, renkten ya korkuyorlar ya da görmezden geliyorlar” biçiminde ifade edilmiştir [5, 6].

Renk tasarımı, belli bir konunun özelliklerine uygun, anlamlı ve estetik görünüşler yaratmaya yönelik ve doğrudan o konu için oluşturulan “renk düzenleme”, yani “renk düzeni kurma” çalışmasıdır. Bu nedenle, cephe renk tasarımı, yapı kabuğu elemanlarına rastgele renkler atayarak değişik renkli yüzeyleri yan yana getirmek değil, yapının mimarisini güçlendiren, dikkat çekici kılan ve içinde yer aldığı çevre özellikleri ile uyumlu renklerin uygun karşıtıklarda kullanıldığı bir renk düzeni oluşturmaktır [4, 6].

Bu bildirinin amacı, bir yerleşimin görünümünü ve kimliğini etkileyen en önemli konulardan biri olan rengi “yapısal öğelerin cephe renkleri” özelinde ele alarak, yapı yüzü renk tasarımı için yol gösterici kimi öneriler sunmak ve mevcut bir yerleşimdeki rehabilitasyon çalışmaları sırasında gerçekleştirilen cephe renk tasarımlarına yönelik örneklemeler yapmaktır. Belirtilen amaç doğrultusunda, önce renk algısını etkileyen etkenlere, renk düzenlerine ve renk tasarımı

aşamalarına değinilmiş, ardından İstanbul ili Fatih ilçesi Kiremit Caddesi ve Çevresi Cephe Rehabilitasyon çalışmaları kapsamındaki yapı yüzü renk düzenleme çalışmalarına yer verilmiştir.

## 2. RENK ALGISI ETKENLERİ, YÜZEY RENGİ BİLEŞENLERİ VE RENK DÜZENLERİ

Renk görme olgusunun bileşenleri olan aydınlatan ışık, aydınlanmış yüzey ve gözlemciye bağlı bir takım özellikler, rengin görünümünü ve algısını etkileyebilir ve değiştirebilir. Renk algılaması ve seçiminde gözlemciye özgü yaş, cinsiyet, eğitim, ilgi alanı vb. bireysel özellikler ile din, kültür, coğrafi özellikler, moda vb. toplumsal olgular da rol oynar [7, 8]. Yüzeyin fiziksel özelliklerine bağlı yanlısamalar, gözlemciye özgü bireysel özellikler ve toplumsal yargılamalar bir tarafa bırakıldığında bilimsel açıdan, bir görme alanı içinde yan yana gelen renkli yüzeylerin etkisi, yüzey renkleri arasındaki ayrımlara bağlı olarak değerlendirilir.

Yan yana kullanıldığında uyumlu bir birliktelik oluşturabilecek renklerin, başka bir anlatımla, anlamlı renk kompozisyonlarının saptanması konusunda yüzyıllar boyunca pek çok araştırma ve çalışma yapılmıştır. Bunlardan, olası renk kompozisyonlarını “yüzey renklerinin (özdeksel renklerin; boya renklerinin) bileşenleri” aracılığı ile tanımlayabilenler, genel geçerliliği olan çalışmalar olarak kabul edilmektedir. Özdeksel renkleri tanımlamaya yönelik olarak geliştirilen “renk görünüm dizgeleri” nde, renkleri belirlemek için kullanılan bileşenler, referans algılama noktaları ve renkler arasındaki ilişkiyi kurmak için kullanılan psikometrik yöntemin seçimi bakımından ayrımlar gösterebilir [9, 10]. Söz konusu dizgeler, Munsell Renk Dizgesi, Doğal Renk Dizgesi, Alman-Renk Kartları (DIN 6164) ve RAL Tasar Dizgesi (RAL-DS olarak örneklenebilir.

Doğal Renk Dizgesi’ nde (Natural Colour System; NCS) yüzey rengi duyulanmaları beyaz, siyah, kırmızı, sarı, yeşil ve mavi olarak kabul edilen altı ana renge "benzerlik" derecelerine göre tanımlanır. Benzerlikler tür, siyahlık/beyazlık, türsel doymuşluk bileşenleri ile ifade edilmiştir. Tür (hue), kırmızı (R), sarı (Y), yeşil (G) ve mavi (B) olarak sıralanan dört ana renk türünü birbirinden ayırt etmeyi sağlayan niteliktir. Siyahlık (blackness; S), belli bir renk türünün ana renk varsayılan siyaha benzerlik derecesi olup, maksimum siyahlık 100 ile gösterilir. Beyazlık (whiteness; W), belli bir renk türünün ana renk varsayılan beyaza benzerlik derecesi olup, maksimum beyazlık 100 ile ifade edilir. Türsel doymuşluk, türsellik düzeyi (chromaticness; C), rengin türsel doymuşluğunun az ya da çok olduğunu anlatan görsel algı niteliği olup bir rengin içindeki beyazlık ya da siyahlık oranı belirler [10, 11, 12]. Bu dizgede bir renk “Nüans (siyahlık yüzdesi, türsel doymuşluk yüzdesi) - Tür “biçiminde sıralanan simgelerle gösterilir. Örneğin, S 1560-R simgelemesinde, 1560 nüansı, rengin içindeki siyahlık oranının %15, türsel doymuşluk oranının %60, beyazlık oranının %25 olduğunu belirtir.

Bir görme alanı içinde yan yana gelen yüzeylerin anlam ve etkisi ise yüzey renklerinin bileşenleri arasındaki ayrımların (karşıtlıkların) büyüklüklerine göre değişir. Bu olguya dayanarak, bir yüzeydeki renk karşıtlıkları temel olarak tekli, ikili ve üçlü karşıtlıklar olarak gruplandırılabilir. Renkli bir kompozisyonda bileşenler arasındaki karşıtlıklar değiştirilerek birbirine benzemeyen ve çok sayıda renksel görünümler yaratılabilir [13, 14]. Renk karşıtlık düzenlerinin özellikleri, Doğal Renk Dizgesi simgeleri, karşıtlık örnekleri ile birlikte Çizelge 1'de sunulmuştur.

**Çizelge 1.** Tekli ve ikili karşıtlık düzenleri ve özelliklerinin Doğal Renk Dizgesi simgeleri ile gösterimi.

Renk düzeni		Renk bileşenlerinin özellikleri		
		Tür (karşıtlık)	Siyahlık Beyazlık/ (karşıtlık)	Türsel Doymuşluk (karşıtlık)
Tekli karşıtlık düzenleri	Tür karşıtlıkları S 2030 – R; S 2030 - G	<b>Değişir</b> R, G (1)	Sabit 20 (0)	Sabit 30 (0)
	Siyahlık/beyazlık karşıtlıkları S 2030 – R; S 4030 – R,	Sabit R (0)	<b>Değişir</b> 20, 40 (0,50)	Sabit 30 (0)
	Türsel Doymuşluk karşıtlıkları S 2030 – R; S 2060 - R	Sabit R (0)	Sabit 20 (0)	<b>Değişir</b> 30, 60 (0.50)
İkili karşıtlık düzenleri	Eş türler S 2020 – R; S 4040 - R	<b>Sabit</b> R (0)	Değişir 20, 40 (0.50)	Değişir 30, 40 (0.10)
	Eş değerler S 2030 – R; S 2040 - G	Değişir R, G (1)	<b>Sabit</b> 20 (0)	Değişir 30, 40 (0.10)
	Eş doymuşluklar S 2040 – R; S 4040 - G	Değişir R, G (1)	Değişir 20, 40 (0.50)	<b>Sabit</b> 40 (0)

### 3. YAPI YÜZÜ RENK TASARIMI İLKE VE AŞAMALARI

Yapı yüzü renk tasarımı, “yapının mimarisini güçlendiren, dikkat çekici kılan ve içinde yer aldığı çevre özellikleriyle uyumlu renklerin, uygun karşıtlıklarda kullanıldığı bir renk düzeninin oluşturulması çalışmaları” olarak tanımlanmaktadır [4, 6, 8, 15]. Yapı yüzü renk çalışmaları gerçekleştirilirken yol gösterici olan ilke ve aşamalara aşağıda kısaca yer verilmiştir.

#### İlkeler:

Yapı yüzü renk tasarımı çalışmaları sürecinde, iki boyutta renk düzenlemeye yönelik genel renk tasarım ilkelerinden yararlanılmalıdır. Söz konusu süreçte, genel ilkeler doğrultusunda izlenmesi önerilen üç temel adım,

- Tasarımın amacına uygun olan bir “renk karşıtlık düzeni” seçilmesi (tekli ya da ikili karşıtlık düzenlerinden biri),
- Kompozisyonda yer alan elemanlardan birinin (ya da ikisinin), “vurgulanacak öge” olarak belirlenmesi,
- Vurgulanacak öge ile onu çevreleyen elemanların renkleri, karşıtlık grupları ve alan büyüklükleri belirlenmesi
- olarak özetlenebilir [14, 16].

Louis C. Kalf’ın araştırmaları, insanların dikkatinin doğal/refleks olarak sıcak türlere (kırmızı, turuncu vb.), değeri yüksek (açık) renklere ve doymuş (griden uzak) renklere yöneldiğini ortaya koymuştur [13, 17]. Vurgulanacak elemanlar duvar, pencere doğraması, söve, balkon parapeti, giriş kapısı, önemli binalar vb. olarak örneklenebilir. Bu bağlamda, vurgulanacak öge renginin sıcak türlü, yüksek değerli (açık) ve yüksek doymuşlukta olması önerilir.

Yapı yüzü renk kompozisyonu yapılacak yerleşimin, çevresel öğelerden olan topoğrafyası da dikkate alınmalıdır. Eğimli bir arazideki yerleşimde üzerinde, arazinin düşük kotundan yapılara doğru bakıldığında, yapılar arasındaki uzaklığın algılanması güçleşir ve kişiden farklı uzaklıktaki

yapılar görme alanı içine girerek büyük bir “düşey kütle” etkisi oluşturabilir. Yapısal öğelerin bitişik nizam konumlandığı, özellikle genişliğin az olduğu dar sokaklarda yapılar, kişilerde “yatay kütle” etkisi yaratabilir. Yapıların birbirinden kolayca ayırt edilmesini sağlamak ve kütle algısının azaltabilmek için, görme alanına giren bina cephelerinde tür ve/ya da değer karıştıklarının büyük seçilmesi yararlı olacaktır.

### **Aşamalar:**

Bir yerleşime ilişkin renksel izlenimler, yerleşimin bütünü ya da bir yerleşim bölgesi ölçeği, sokak/ meydan ölçeği, tek yapı ölçeği ve detaylar gibi dört ana bölümde yoğunlaşır (3, 14, 16, 18, 19, 20). Bu nedenle, cephe renk çalışmalarına önce yerleşimin en büyük ölçeğinden başlanmalı (kent, kent bölgesi), ardından daha küçük olan sokak, meydan ölçeğine geçilmeli ve en son olarak da yapı ölçeğinde renk düzenleri kurulmalıdır. Bir başka anlatımla, yapıların mimari özelliklerinden biri olan cephe renk ve renk düzenleri belirlenirken, konu, hem yerleşim hem de tek yapı ölçeğinde ele alınmalıdır. Yerleşim ve tek yapı ölçeği göz önüne alınarak cephe renk tasarımı sürecinde izlenmesi gereken aşamalar kısaca aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Yapının yer aldığı yerleşime (kent bölgesi, sokak, meydan vb.) ilişkin doğal (iklim, su öğeleri, yeşil öğeler, vb.) ve yapay (tarihi bölge, modern bölge, sanayi bölgesi, boş arazi, yakın çevre yerleşimindeki yapıların boyut, konum, mimari üslupları vb.) çevre verilerinin belirlenmesi, renk analizlerinin yapılması.
- Çevre verilerinin analizleri doğrultusunda, yerleşimin bütünü için olası renk karışıklık düzeni seçeneklerinin saptanması.
- Olası renk karışıklık düzenleri arasından en uygun olanın, yerleşim ölçeği için temel renk düzeni olarak belirlenmesi ve bu düzene ilişkin renk bileşenlerindeki karışıklık sınırlarının oluşturulması.
- Yerleşimdeki her yapıya özgü doğal (arazi topoğrafyası, yeşil öğeler vb.) ve yapay (yakın binaların boyut, konum, mimari üslup vb.) çevre ile yapısal (boyut, biçim, cephe üslubu, kullanılan malzemeler vb.) verilerin saptanması.
- Yerleşimin temel renk düzeni içinde kalmak koşulu ile yapıya özgü renk düzenin ve renklerinin seçilmesi, renk bileşenlerindeki karışıklık sınırlarının belirlenmesi.
- Tek yapı ölçeğinde seçilen renk düzeninin uygulanacağı yapı yüzü elemanlarının saptanması (duvar, pencere doğraması, korniş, yangın merdiveni, çatı saçağı, balkon vb.).

## **4. YAPI YÜZÜ RENK ÇALIŞMALARI VE BİR ÖRNEKLEME**

Yapı yüzü renklendirme çalışmaları,

- Yerleşimin kullanıma açılan bölgelerinde yeni inşa edilecek yapılar,
- Aynı mimari özellikteki birçok yapının yer aldığı toplu konut binaları,
- Mevcut yerleşimlerde yapılacak yeni binalar,
- Mevcut yerleşimlerde var olan ve rehabilitasyonu yapılacak yapılar

gibi değişik durumlar için gerçekleştirilebilir. Hangi durumda olursa olsun, renk çalışmalarında coğrafî yapı, kültür, iklim, tarihsel geçmiş, yapı malzemeleri, yapıların yapısal özellikleri göz

bulundurmalıdır. Yapı yüzü renkleri konusundaki literatürde değişik ülkelerde gerçekleştirilmiş, değişik uygulama örnekleri bulunmaktadır (**Şekil 1**) .



Polonya-Varşova



İsveç-Oslo



İtalya-Burano

**Şekil 1.** Yapı yüzü renklerine ilişkin örnekler [21].

Bilindiği üzere bir yerleşimin var olan, eskiyen ama kullanımı devam eden, işlev değişikliği hedeflenen yapısal öğelerinin rehabilitasyon yolu ile yenilenerek kazandırılması sosyo-kültürel ve ekonomik kalkınma açısından da büyük önem taşımaktadır. Yapıların rehabilitasyonu sürecinde taşıyıcı sistem vb. iyileştirmelerinin yanı sıra çeşitli onarımlar yapılabilen ve kimi durumlarda cephe renkleri/renk düzenleri de değiştirilebilmekte, yeniden düzenlenebilmektedir. Bu renk düzenlemeleri yerleşimin o bölgesine/sokağına/mezdanına özgü olarak, çeşitli nedenlerle yapılsa da hemen hemen tümünü ortak noktası, bölgelerin turistik çekiciliği nedeniyle eskisinden daha da cazip hale getirilmesi, canlandırılması ve hareketsizlikten kurtarılması isteğidir [21].

### **Örnekleme:**

İstanbul Fatih Belediyesi ve İlbank A.Ş. işbirliğiyle, Fatih Belediyesi Plan ve Proje Müdürlüğü tarafından, Fatih ilçesi Suriçi bölgesindeki en eski yerleşim alanı olan Fener ve Balat Mahallelerinde bir “Cephe Rehabilitasyon Projesi” başlatılmıştır. Rehabilitasyon Projesi, 1. Derece koruma bölgesi olan bu alandaki tarihi binaları, çevrelerini ve mahalle kültürünü yeni yapılaşma içerisinde korumayı hedefleyen, bir doku koruma çalışması olarak ele alınmıştır. Proje dört etapta yürütülmüş ve dördüncü etabında, Suriçi’nde yer alan Kiremit Caddesi Binaları konu edilmiştir. Bildiri kapsamında ele alınan Fatih-Kiremit Caddesi Binaları’nın rehabilitasyonu sırasında başlayan cephe renk tasarımının işlem dizisi, 3. Bölümde verilen aşamalar doğrultusunda aşağıda sıralanan biçimde kurgulanmıştır.

- Caddedeki doğal ve yapay çevre öge özellikleri ile Cadde topografyasının belirlenmesi.
- Mimari özellikleri önem taşıyan ve/ya da cephe renkleri değiştirilemeyecek (korunacak) binaların tespiti, fotoğraflanması ve renksel özelliklerinin Doğal Renk Dizgesi’ ne göre belirlenmesi.
- Caddenin tümü için cadde ölçeğinde konsept renk düzeni seçeneklerinin oluşturulması ve uygulanacak olan seçeneğin belirlenmesi.
- Caddenin konsept renk düzeni doğrultusunda, renkleri korunacak binalar da dikkate alınarak, her binanın büyük alan kaplayan yüzeyleri için, yapı ölçeğinde konsept renk düzeni olasılıklarının kurgulanması ve uygulanacak olana karar verilmesi.
- Tek yapı ölçeğinde belirlenen konsept renk düzeni doğrultusunda, her yapının cephesinde kullanılacak renklerin Doğal Renk Dizgesi (NCS) aracılığı ile tanımlanması.

Kiremit caddesi doğal çevre açısından çok belirgin bir özellik taşımamakla birlikte arazinin topoğrafyasından ötürü caddenin iki ucu arasında yaklaşık 40 m lik yükseklik farkı vardır. 300 m uzunluğundaki caddenin 220 m lik bölümü hemen hemen tek bir doğrultuda devam etmekte ve dört adet yol kesişimi bulunmaktadır. Caddenin ortalama genişliği 7 m dir. Cadde aksı Kuzey-Güney doğrultusundadır.

Yapay çevre açısından Kiremit Caddesi'nin iki tarafında da bitişik nizam konumlanmış 102 adet yapı bulunmakta olup bunlarda 56 adedi tescilli bina özelliğindedir. Yapılar 3-4 katla sınırlı yükseklikleri, mimari stil ve özellik olarak tuğla, taş, ahşap gibi malzemelerin birlikte kullanımı ile cumbalı sıra evler olarak tanımlanabilir. Bina cephelerinde basit bakım –onarım çalışmaları yapılmaktadır. Cadde ve tek yapı ölçekleri için konsept renk düzeni seçenekleri oluşturulurken cephe renkleri değiştirilmeyecek/korunacak binaların renksel özellikleri de dikkate alınmıştır. Önceki rehabilitasyon çalışmaları sırasında, bina cephelerinde genelde doymuşluğu yüksek değişik renk türlerinin (sarı, mavi yeşil vb.) kullanıldığı da dikkat çekmektedir.

İlgili literatürde yer alan Reid Ewing ve Otto Clemente'n çalışmalarında, caddelerin yoğunluğunun ve erişilebilirliğinin yanı sıra, fiziksel çevresine ilişkin algısal özelliklerinin de yayaların genel yürünebilirliğini etkilediğini ileri sürmüşlerdir [22]. Ayrıca, kentsel çevre ne kadar karmaşıksa, o kadar dikkat çekici, ilginç olduğunu ve dolayısıyla da o kadar yürünebilir olduğunu, yeğlendiğinin ifade etmişlerdir. Bu varsayımlara dayanarak Elif Ensari ve Saadet Akbay [23] cephe renklerinin çeşitliliğinin, sokak manzarasının algılanan karmaşıklığına katkıda bulunduğunu ve dolayısıyla caddeyi yayalar için daha çekici kıldığını kanıtlayan araştırmalar gerçekleştirmişlerdir. Merve Seray Zümrüt [24] ise, cephe renk düzenlerinin uyum, tercih ve beğenme kavramları ile değerlendirilmesine yönelik araştırmasında, tür karşıtlıklarının baskın olduğu (tür çeşitliliğinin fazla olduğu) düzenlerin uyumlu bulunmamasına karşın, tercih edilen ve beğenilen renk düzenlemeleri açısından en üst sırada yer aldığını belirlemiştir [21]. 3. Bölümde, cephe renk tasarımı açısından, genişliği az ve bitişik nizam yapılaşmanın olduğu sokaklarda, yapıların birbirinden ayırt edilmesini, algılanmasını kolaylaştırmak ve kütle etkisini azaltabilmek için, görme alanına giren bina cephelerinde tür ve/ya da değer karşıtlıklarının büyük seçilmesi önerilmektedir.

Yukarıdaki açıklamalar bağlamında hazırlanan tasarım seçeneklerinden, Kiremit Caddesi renk tasarımı oluşturulurken, konsept renk düzeni cadde ölçeği için “**tür karşıtlığına yakın düzen**”, bina ölçeği için “**eştürler düzenine yakın düzen**” olarak belirlenmiştir.

- Cadde ölçeği konsepti olarak karar verilen tür karşıtlığı düzeninde Doğal Renk Dizgesi' ne göre birbirini yaklaşık eşit adımlarla (20) izleyen türler belirlenmiş, cadde boyunca renk türleri soğuktan sığa doğru dizilmiş ve yinelenerek yapılara atanmıştır. Böylece, cadde kullanıcıları açısından, dikkat çekici, uyarıcı tayfsal bir renk türü yelpazesi görünümün yaratılması sağlanmıştır. Cephelerdeki tür karşıtlığı düzeninde renklerin Doğal Renk Dizgesi' ne göre nüanslarının oldukça sabit kalması (siyahlık ve doymuşluk; 1030) öngörülmüştür.
- Yapı ölçeği için belirlenen konsept olan eştürler düzeninde, her yapıda cadde konsepti içinde tanımlanan türün değişik nüansları (siyahlık ve doymuşlukları) kullanılmıştır. Yapı ölçeğinde, pencere sövesi, pencere doğraması gibi öğeler vurgulanacak eleman olarak seçilmiştir. Söz konusu tasarımlara ilişkin olarak vaziyet planı ve görünüş çalışmaları **Şekil 2-4** te örneklenmiştir.





konusu mutlaka dikkate alınmalıdır. Söz konusu çalışmalar yapılırken, çevresel ve yapısal öğelerin hem yerleşim hem de tek yapı ölçeği için analizleri yapılmalıdır. Analizlerden elde edilen veriler doğrultusunda her iki ölçek için ayrı ayrı renk düzenleri kurgulanmalıdır. Bildiri kapsamında değinilen ilkeler, aşamalar ve örnek uygulama yeni oluşturulan yerleşim alanlarında ve mevcut yerleşimlerde yeni yapılacak binalar ile var olan yapıların rehabilitasyonlarındaki yapı yüzü renk tasarımları için yol gösterici olacaktır.

## TEŞEKKÜR

Kiremit Caddesi cephe renk çalışmalarına verdikleri destek ve katkılar için İstanbul Fatih Belediyesi Plan ve Proje Müdürlüğü'ne teşekkürlerimi sunarım.

## KAYNAKLAR

1. D. Kuban, "Mimarlık Kavramları", YEM Yayın, (1990).
2. K. Lynch, "The Image of the City", The M.I.T. Press, (1960),
3. R. Ünver, "Renk kirliliği", 2000 GAP-Çevre Kongresi, ISBN 8215-90-6, Cilt 2, Şanlıurfa, (6-18 Ekim 2000), ss. 991-996.
4. R. Ünver, "Toplu konut yapı yüzü renk tasarım süreci ve Demirciköy-Bizimtepe konutları uygulaması", 6. Ulusal Aydınlatma Kongresi, ATMK, İstanbul, (23-24 Kasım 2006), ss. 265-272.
5. B. Mikellides, "Colour for Architecture: Chromatophobia, Chromatophylia and Gender in Colour Design" Elsevier, (2017).
6. R. Ünver, K. Çelik, E. Özcan Küçükçılıç, "Yapı yüzü renk tasarımı: YTÜ Davutpaşa kampüsü lojmanları", Yapı Dergisi, Sa.473, (2022), ss.50-55.
7. R. Ünver, L. D. Öztürk, "An example for facade colour design of mass housing", Color Research and Application, JohnWiley&Sons, ISSN: 0361-2317, Vol. 27, No. 4, (2002) , pp. 291-299.
8. R. Ünver, L. D. Öztürk, "Yapı yüzü renkleri: İstanbul'daki toplu konutlara ilişkin bir araştırma", 5. Ulusal Aydınlatma Kongresi, ATMK, İstanbul, (7-8 Ekim 2004), ss. 109-116.
9. R. Ünver, "Renk görünüm dizgeleri", 3. Ulusal Aydınlatma Kongresi, ATMK, ss. 138-143, İstanbul, (23-24 Kasım 2000).
10. M. D. Fairchild, "Color Appearance Models", Addison Wesley Longman Inc., (1998).
11. A. Hard, et.al, "NCS, Natural colors system-Part 1", Color Research &Application, Vol. 21, (1996), ss. 180-205.
12. A. Hard, et.al, "NCS, Natural color system-Part 2", Color Research &Application, Vol. 21, (1996), ss. 206-220.
13. Ş. Sirel Ş. "Kuramsal Renk Bilgisi", İ.D.M.M.A Basımevi, İstanbul, (1974).
14. R. Ünver. "The contrast and contrast arrangements in colour perception", Colour Between Art and Science - Oslo International Colour Conference, Norway (1998), pp. 180-181.

15. E. Özcan Küçükklıç, R. Ünver, “Yapı yüzü renk algısı etkenlerinin değerlendirilmesine yönelik bir model önerisi: ekran deneyi”, Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, Vol. 37, Sa.3, (2022), ss.1387-1400.
16. R. Ünver, L. D. Öztürk, “Toplu Konutlarda Yapı Dış Yüzü Renklendirmesinde Temel İlkeler ve Öneriler; YTÜ Araştırma Fonu, Proje No. 99-03-01.02, (2002).
17. L. C. Kallf, “Kunstlicht und Architektur”, Philips Technische Bibliothek, (1943).
18. M. Lancaster, “Colourspace”, Academy Editions, Maryland, (1996).
19. C. Moughtin, T. Oc, S. Tiesdell, “Colour in the City”, Architectural Design, No: 120, (1996).
20. Ünver, R., Kuruç, A., Özcan, K. Esra, “Sürdürülebilir İstanbul Kentsel Tasarım Rehberi”, 3.3-Renk, ISBN 978-605-9607-07-3 (2c), İBB, Mart 2017, İstanbul, (2017), pp. 229-249.
21. E. Küçükklıç Özcan And K. Çelik, "Environmental color analysis and facade color design in a street rehabilitation: Adana, Kayalıbağ", Color Research And Application, Vol.1, No.16, (2024), pp.1-16.
22. <https://tr.pinterest.com/pin/310115124312869477/> (4. 4. 2024)
23. R. Ewing, O. Clemente, “Measuring Urban Design: Metrics for Livable Places. Washington, DC: Island Press. (2013).
24. E. Ensari, S. Akbay, “Walkability and colour experience: façade colours and pedestrian walking preferences on urban streets”, Proceedings of the International Colour Association (AIC) Conference 2018. Newtown, (2018), 99-104.
25. M. S. Zümrüt, “Renk Karşıtlık Düzenlerinin Uyum, Tercih ve Beğeni Kavramları Açısından Değerlendirilmesi”, YL Tezi, YTÜ-FBE, (2023).

# SICAK NEMLİ İKLİM BÖLGESİNDE BULUNAN OFİS BİNASI İÇİN İKLİME DUYARLI GÖLGELEME ELEMANI TASARIMI

Elif Yapıcı<sup>1</sup>  
Onur Yalçın<sup>2</sup>  
Ecem Edis<sup>3</sup>  
İTÜ Mimarlık Fakültesi, Taşkişla, Taksim, İstanbul, 34437

## ÖZET

*İklim ve enerji krizinin temel kaynaklarından biri olan küresel enerji tüketiminde inşaat sektörünün payının büyük olması, enerji etkin bina tasarımının önemini arttırmaktadır. Enerji etkin bina tasarımına ilişkin çalışmalar, konut ve ofis işlevli binaların diğer binalara göre daha çok enerji tükettiğini göstermektedir. Bununla bağlantılı olarak, bina kabuğunun performansı da, ısıtma, soğutma, aydınlatma ve havalandırma gibi bina enerji yükleri üzerinde büyük etkiye sahiptir ve bu bağlamda özellikle büyük boyutlu cam cephe sistemlerinin uygulandığı ofis binalarında enerji etkin kabuk tasarımı birçok kazanım sağlamaktadır.*

*Bina ile dış mekan arasında enerji alışverişlerinin gerçekleştiği kabuk sisteminin enerji etkin tasarlanabilmesi için, değişen iklim koşullarına uyum sağlayabilir nitelikte olması önerilmektedir. Uyum sağlama, diğer bir deyişle değişim, malzeme ölçeğinde ve/veya bileşen ölçeğinde gerçekleştirilebilmektedir. Bileşen ölçeğinde gerçekleştirilen değişim; bileşenin konumu, biçimi veya yöneliminde değişim ile sağlanmaktadır. Çalışmada, biçim değiştirebilen (hareketli) gölgeleme elemanı (GE) tasarımlarında faydalanılan origami desenleri kullanılarak, sıcak-nemli bir iklim bölgesindeki bir ofis binasının saydam cephe sistemi için GE tasarımı ele alınmıştır. Bu kapsamda, GE'nin hareketinde kullanılacak farklı kontrol stratejilerini değerlendirmek için, cephe yönelimi, katlanma miktarı vb. değişkenlerin enerji tüketimi ve doğal aydınlatma performansı üzerindeki etkisini incelemek üzere yapılan benzetimler ve sonuçları açıklanarak tartışılmıştır.*

*Anahtar sözcükler: İklimde duyarlı tasarım, Ofis binası, Enerji etkinlik, Görsel konfor, Origami temelli tasarım*

## ABSTRACT

*The rise of climate and energy crisis and its strong relation with the construction industry causes energy-active building design to gain importance as a topic in architectural design. In the literature, it is known that residential buildings and office buildings are the most energy-consuming building types compared to the others. Considering that building envelope performance affects directly the cooling, heating, lighting, and ventilation loads; energy-efficient facade design is crucial, especially for office buildings which usually have large glass facades.*

*To achieve an energy-efficient facade design, where energy exchange occurs between interior and exterior, climate-responsive design strategies can be implemented. Responding behavior can be a change in the properties of the material or/and a change in the shape, orientation or position of the component. This paper is focused on the origami-based shape-changing shading device design for an office building located in a hot humid climate zone. The relation between energy consumption and visual comfort with orientation, dimensions and folding ratios of the origami-based shading device is discussed considering the simulation and analysis results.*

*Keywords: Climate responsive design, Office buildings, Energy efficiency, Visual comfort, Origami based design*

<sup>1</sup> elifyapici96@gmail.com

<sup>2</sup> yalcinonu@itu.edu.tr

<sup>3</sup> ecem@itu.edu.tr

## 1.GİRİŞ

2021'de elde edilen verilere göre inşaat sektörü küresel enerji tüketiminin yaklaşık %30'undan sorumludur ve bina kaynaklı enerji tüketiminin 2010 yılından beri her yıl %0,5 oranında arttığı bilinmektedir [1]. Binaların işlevlerine göre enerji tüketimi incelendiğinde, konut ve ofis işlevli binaların diğer işlevlere göre enerji tüketiminde daha büyük bir payının olduğu görülmektedir. Ofis binalarında ise cephe sisteminin performansı, toplam enerji tüketiminin %50-70' ini oluşturan ısıtma, soğutma ve aydınlatma yükleriyle doğrudan ilişkilidir [2].

Ofis binalarının ağırlıklı olarak saydam bileşenlerden oluşan cephe sistemleri, günışığını iç mekana kontrollü bir biçimde alma ihtiyacını da doğurmaktadır. Günışığı kontrolünü sağlamak için tasarlanan gölgeleme elemanları (GE), görsel konforu arttırırken aynı zamanda enerji yüklerini de azaltabilmektedir. Hareketli GE'lerin kullanılması ile sabit olanlara kıyasla daha etkin sonuçlar da alınabilir [3]. Bunun yanı sıra, sayısal tasarım araçlarının ve üretim teknolojilerinin de gelişmesiyle birlikte, GE'lerde karmaşık hareket tipleri ile geometrik formların kullanımı da, ilgili yazında artan bir ilgiyle konu edilmektedir.

Bu çalışmada, sıcak-nemli bir iklim bölgesinde bulunan bir ofis binası için, origami deseni ile oluşturulan GE'lerin hareketinin görsel konfor ve enerji verimliliğine etkisi, bilgisayarlı benzetim yöntemiyle incelenmiştir. Bu kapsamda bildiride, kabuk tasarımında iklime uyarlanabilirlik ve origami kullanımı açıklandıktan sonra, enerji tüketimi ve görsel konfora etkinin değerlendirilebilmesi için izlenen yöntem verilmiştir. Devamında, benzetim sonuçları GE'ye ilişkin cephe yönü, bileşen boyutu ve katlanma oranı gibi çeşitli değişkenlere bağlı olarak analiz edilerek, bu değişkenlerin enerji verimliliği ve görsel konfor üzerindeki etkileri tartışılmıştır.

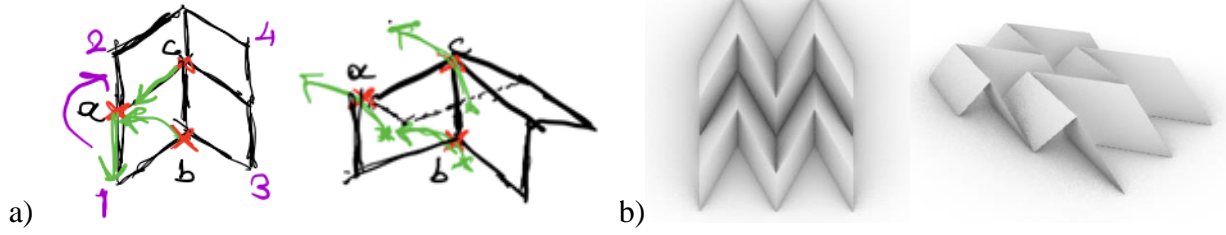
## 2. KABUK TASARIMINDA İKLİME UYARLANABİLİRLİK VE ORİGAMİ

Kabuk tasarımında iklime uyarlanabilirlik, zamanla değişen dış mekan koşullarına bağlı olarak bina kabuğunda gerçekleşen enerji alışverişini engelleme, filtreleme, toplama, depolama, dönüştürme ve/veya geçişine izin verme yöntemleri ile sağlanmaktadır [4]. Bu yöntemler, iklim koşullarına bağlı olarak malzeme özelliklerindeki (günışığı yansıtıcılık özelliği, ısıl iletkenlik, emilim gibi) değişim ve/veya bileşenin biçimi veya konumundaki değişim (kinetik davranış) ile gerçekleştirilmektedir [5]. Kayma, dönme veya katlanma gibi kinetik davranış çeşitleri sistemin uyum sağlama yeteneğini arttırmakta, katlanabilen bileşen tasarımları için de, origami prensipleri biçim üretmede büyük bir çeşitlilik yaratmaktadır.

Mimaride origami desenlerini kullanan, yapı veya bileşen ölçeğinde uygulanmış örneklere ek olarak, bilgisayar destekli tasarım araçlarının yaygınlaşmasıyla, origami desenlerinin kullanım olanaklarını araştıran çalışmaların sayısı da artmaktadır. Origami desenleri ile iklime uyarlanabilir GE tasarımını ele alan çalışmalarda, performansı iyileştirmek ve değerlendirmek için daha çok çevreye ve binaya ilişkin değişkenlerin (yönelim, iklim tipi vb.) veya origami desenine ilişkin değişkenlerin (yüzey doluluk oranı, katlanma miktarı, opaklık, desen çeşitleri vb.) irdelendiği görülmektedir [6-10].

Origami aşamaları sırasıyla; kağıdı bölümlere ayırarak bir desen oluşturma, desenin çeşitli şekillerde (simetriğini oluşturarak, döndürerek vb.) tekrar edilmesi ve bükme-esnetme hareketleriyle iç bükey olan tepe (*mountain*) ve dışbükey olan çukur (*valley*) katlanma çizgileri

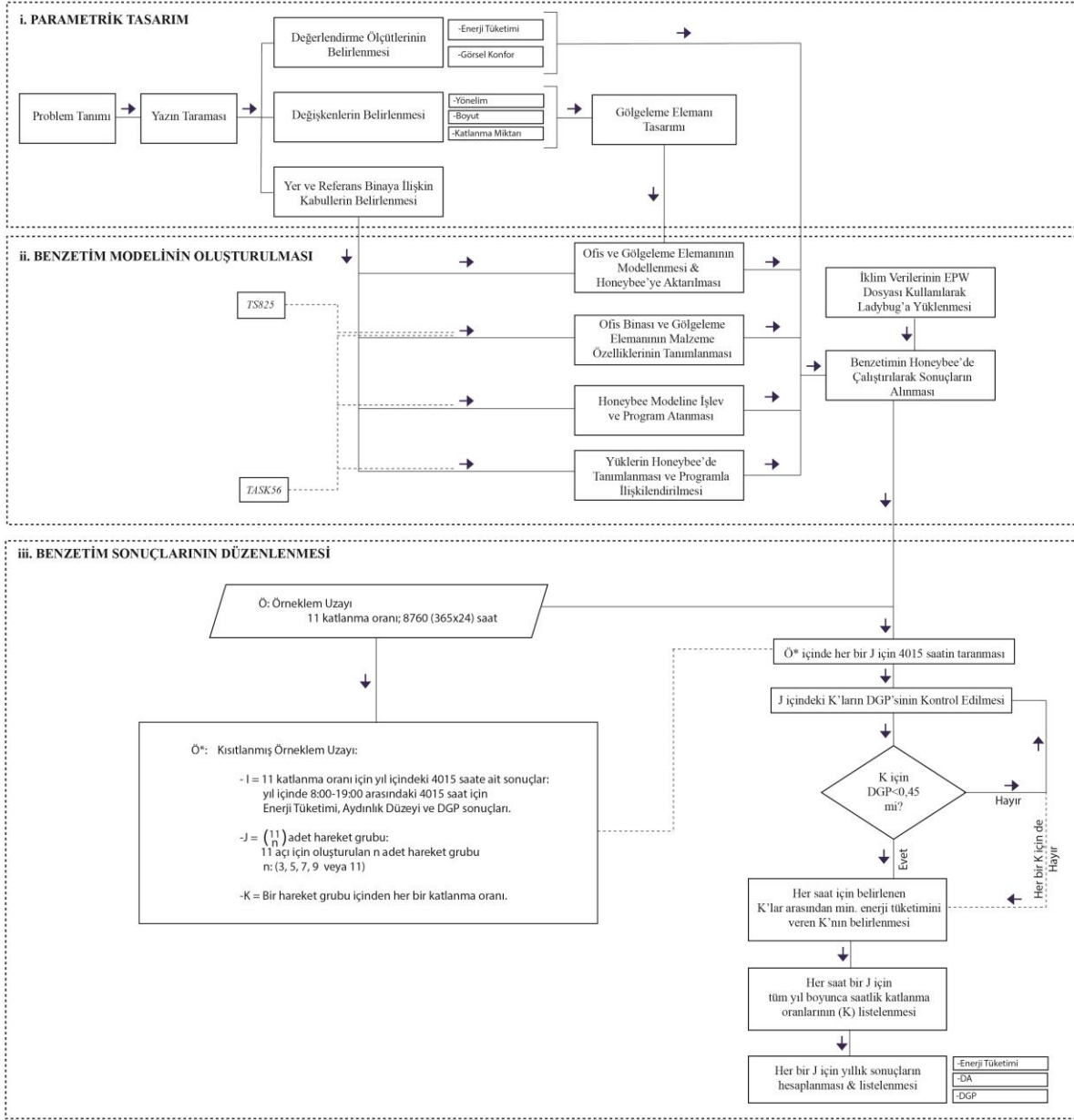
oluşturma şeklinde özetlenebilir [11]. Katlanma şekilleri, kağıdın deforme olmadan ilk durumuna dönebilmesine bağlı olarak, rijit katlama ve esnek katlama, desenin tamamen katlandığındaki boyutsal özelliğine bağlı olarak da düzlemsel ve hacimsel katlama olarak sınıflandırılmaktadır [12]. Bu çalışmada GE'nin düzlemsel ve rijit katlanması (ilk duruma dönebilmesi) gerekliliği düşünülerek görece daha az karmaşık bir geometriye sahip olan miura ori deseni kullanılmıştır. Miura ori deseninin katlanma geometrisi, her bir paralelkenar birimin a ve c noktası yz düzleminde bir yay üzerinde, b noktasının ise xy düzleminde bir yay üzerinde hareket etmesi ilkesine dayanır (**Şekil 1a**). İkinci birim ilk birimin x eksenine, üçüncü ve dördüncü birimler ise ilk iki birimin y eksenine göre simetriğinin oluşturulmasıyla elde edilmektedir (**Şekil 1b**).



**Şekil 1:** a) Miura ori desenini oluşturma aşamaları, b) miura ori deseninin 3-boyutlu görünümü.

### 3. YÖNTEM

Çalışmada, GE'nin kontrol sisteminin GE ünitelerini önceden tanımlanmış belirli sayıda katlanma oranı arasında hareket ettireceği kabul edilmiştir. Miura ori deseniyle oluşturulan GE ünitesinin boyutunun ve kontrol birimine tanımlanacak katlanma oranı sayısının binanın enerji tüketimine ve doğal aydınlatma performansına etkisinin parametrik modelleme ve bilgisayarlı benzetim yoluyla irdelenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla çalışmada, izleyen alt bölümlerde açıklanan **Şekil 2**'de gösterildiği gibi; (i) parametrik tasarım, (ii) benzetim modelinin oluşturulması ve (iii) benzetim sonuçlarının düzenlenmesi adımları izlenmiştir. Çalışmanın son adımı olan sonuçların değerlendirilmesi adımı ise, bulgularla birlikte 5. Bölüm'de anlatılmıştır.

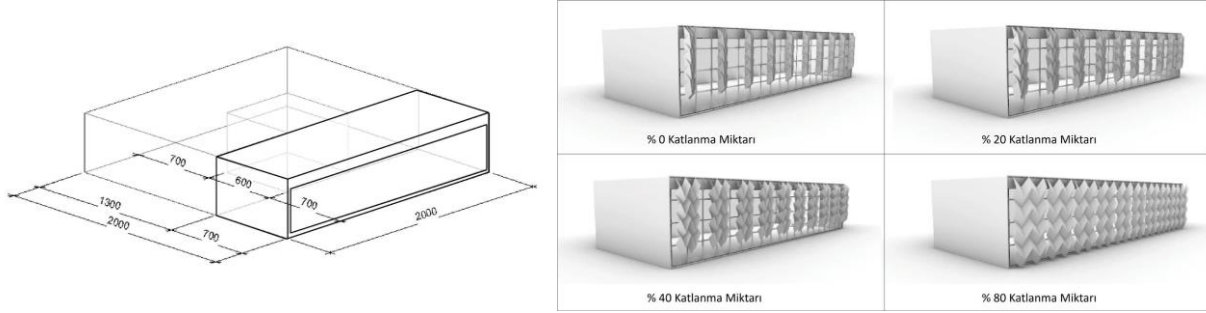


Şekil 2: Çalışmada izlenen adımları gösteren akış şeması.

### 3.1. Ofis Binasının Konum ve Özellikleri ile GE'nin Özelliklerinin Belirlenmesi

Çalışılan ofis binasının sıcak-nemli iklime sahip Mersin ilinin, ofis binalarının da yer aldığı Yenişehir ilçesinde bulunduğu kabul edilmiştir. Bu bölgede binalar arasındaki mesafeler fazla olduğundan, çevredeki yapıların modele dahil edilmemesine karar verilmiştir. Referans alınan ofis binasının 400 m<sup>2</sup>'lik (20x20 m) taban alanına ve 4 m'lik kat yüksekliğine sahip olduğu; binanın merkezinde düşey dolaşım (sirkülasyon) ile ıslak hacimleri içeren 6x6 m boyutlarında bir çekirdek bulunduğu ve ofisin açık plan şemasına sahip olduğu varsayılmıştır (Şekil 3). Çalışmada, binanın bir katı için ofis biriminin güney, doğu ve batı olmak üzere üç farklı cephe yönelimi incelenmiş; incelenecek her cephe yönünde 67,3 m<sup>2</sup>'lik (19,8x3,4 m) alana sahip cam giydirme cephe sistemi

bulunduğu düşünülmüştür. GE üniteleri ile cephe yüzeyi arasında 40 cm mesafe bulunacağı öngörülmüştür. Birbirlerinden bağımsız hareket merkezleri olan her bir miura ori diliminin, diğer bir anlatımla her bir GE ünitesinin boyutlandırmasının enerji verimliliği ve kullanıcı konforuna etkisini de görebilmek amacıyla, 2x2m ve 4x4m'lik alana sahip üniteler incelenmiştir. Origami deseninin katlanma miktarını ifade etmek üzere farklı değişkenler (açı, hareket miktarı vb.) kullanılabilse de; gereğinden fazla yapılan gölgelemenin kullanıcıların dış görüşünü olumsuz etkileyebilme olasılığı da gözetilerek, çalışma kapsamında katlanma miktarı ifadesi, ünitelerin cephe üzerindeki izdüşümünün cephe yüzey alanına oranını belirtmek için kullanılmıştır. Benzetim çalışması kapsamında %10'luk artışlarla, %0 (tam açık pozisyon) ile %100 (tam kapalı pozisyon) arasındaki 11 katlanma oranı incelenmiştir.



Şekil 3: a) Ofis binasının temsili bir katı ve incelenen ofis birimi, b) farklı katlanma oranlarında GE'lerin görünümü.

### 3.2. Benzetim Modelinin Hazırlanması

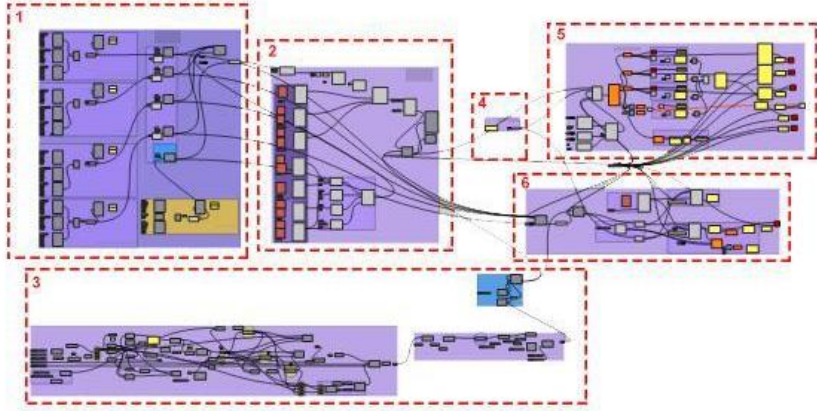
Referans bina ve GE'ler, Rhinoceros'un Grasshopper eklentisi kullanılarak modellenmiş; enerji tüketimi ile güneş ışığı analizleri ise Ladybug-Honeybee benzetim aracı ile gerçekleştirilmiştir. Enerji yükü hesaplamaları için gerekli ekipman yükü, kullanıcı özellikleri vb. model değerlerinde, Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) ofis binaları için yönergesindeki değerler, Mersin iklim koşullarına uyarlanarak esas alınmıştır (Tablo 1)[13].

Tablo 1: Benzetimlerde kullanılan enerji analizi ayarları ve malzeme özellikleri.

Mekan boyutları	7 x 20 x 4 (yükseklik) metre		
Saydam bileşen boyutları	19,8 x 3,4 metre		
Gölgeleme elemanı	alüminyum		yansıtıcılık: 0,9
Opak duvar (dış)	3 mm alüminyum levha, 60 mm mineral yün, 3 mm alüminyum levha		U: 0,56 W/m <sup>2</sup> K
Opak duvar (iç)	24 mm alçı levha, 80 mm mineral yün, 24 mm alçı levha		ısı iletmeyen (adiabatic)
Tavan & döşeme	5 mm halı, 120 mm şap, 350 mm betonarme döşeme		
Saydam bileşen	6 mm cam (Low-e kaplamalı), 16 mm boşluk (argon), 6 mm cam		U: 1,4 W/m <sup>2</sup> K
Ofis Kullanımına İlişkin Ayarlar	Kişi sayısı	9 m <sup>2</sup> /kişi sayısı	iş saatlerinde profilendirilmiş
	Aktivite yoğunluğu	100 W/kişi	
Yapay Aydınlatma Ayarları	Aydınlatma yükü	10.9 W/m <sup>2</sup>	iş saatlerinde tam kapasite
	Aydınlatma ayar noktası	500 lx	
Elektrikli Ekipman Ayarı	Elektrik enerjisi yükü	5.6 W/m <sup>2</sup>	iş saatlerinde profilendirilmiş
Mekanik Havalandırma Ayarı	Mekanik havalandırma yoğunluğu	40 m <sup>3</sup> /h/kişi sayısı	iş saatlerinde tam kapasite
Isıtma Ayarları	Isıtma sıcaklığı ayar noktası (setpoint)	21 C°	iş saatlerinde sıcaklık ayar noktası;
	Isıtma sıcaklığı azaltma ayar noktası	13,6 C°	
Soğutma Ayarları	Soğutma sıcaklığı ayar noktası (setpoint)	25 C°	artırma/azaltma ayar noktası
	Soğutma sıcaklığı artırma ayar noktası (setup)	32,2 C°	
Sızdırganlık Ayarı	Saatlik hava değişim oranı	15% (ach)	Tam zamanlı

Günlüğü benzetimleri için, zemin seviyesinden 85 cm yüksek ve 85 cm aralıklı sensör ızgarası yerleştirilmiş; yansıtıcılık değerleri zemin, duvarlar ve tavan için sırasıyla 0,2; 0,5 ve 0,7 alınmıştır [14]. GE'lerin doğal aydınlatma performansına etkisini incelemek üzere, sensör noktalarındaki aydınlık düzeyi benzetim sonuçları ile günlük otonomisi (DA) değeri hesaplanmıştır. Hesaplama kullanılan algoritmanın detayları Bölüm 4.3'te verilmiştir. Görsel konforu olumsuz yönde etkileyen kamaşmayı belirleyebilmek için, hem tüm yıl boyunca sensör noktaları için hesaplamaya olanak tanıyan hem de Günlüğü Kamaşma Olasılığı'na (DGP) oranla hesaplama süresini kısaltan görüntüsüz DGP (*imageless DGP*) ölçüt olarak kullanılmış [15]; 'dayanılmaz kamaşma' (DGP>0,45) düzeyi, çalışma kapsamında eşik değer olarak belirlenmiştir.

Benzetim modeli hazırlanırken izlenen adımlar, Şekil 4'te de ilgili numaralarla gösterildiği üzere (1) ofis binasının Rhinoceros ile modellenmesi ve oluşturulan modelin Honeybee modeline dönüştürülmesi; (2) Honeybee modeline işlev atanması ile işleve uygun programların (*schedule*), iklimlendirme sistemlerinin, yapay aydınlatma yükünün, kullanıcı yoğunluğunun, ekipman yükünün tanımlanması ve tanımlanan yüklerin oluşturulan programlarla ilişkilendirilmesi; (3) kinetik GE'nin Grasshopper'da modellenmesi ve Honeybee içine aktarılması; (4) iklim verilerinin .epw dosyası (TUR\_IC\_Mersin.173400) kullanılarak Ladybug'a yüklenmesi [16] ve (5) farklı cephe yönleri ve GE ünite boyutları için benzetimi çalıştırarak sonuçların alınmasıdır. Isıtma, soğutma, yapay aydınlatma ve ofis ekipmanlarına dayalı enerji tüketimi ile aydınlık düzeyi ve kamaşma için günlük benzetimleri, bir yıl için saatlik olarak yapılmıştır.



Şekil 4: Çalışmada izlenen adımların Grasshopper ara yüzünde gösterimi.

### 3.3. Benzetim Sonuçlarının Düzenlenmesi

GE ünitelerinin tüm katlanma oranları yerine, önceden tanımlanmış bazı oranlar arasında hareket etmesinin enerji tüketimi ve görsel konfora etkisini de irdelemek üzere, Python'da yazılan bir eleme-seçme algoritması kullanılmıştır [17]. Buna yönelik olarak, beş ayrı hareket grubu incelenmiştir. Bunlar; ünitenin 11, 9, 7, 5 veya 3 katlanma oranı içinde hareket edebildiği hareket gruplarıdır. Algoritma ile her bir hareket grubu özelinde, GE'nin tüm yıl boyunca hangi saatte hangi katlanma oranında bulunması gerektiğini belirlemek amacıyla, ilk olarak ilgili saat özelinde, hareket grubu içindeki seçeneklerde kamaşma kontrolü (DGP<0,45) yapılmakta; kamaşmanın olmadığı ve en düşük enerji tüketimine sahip katlanma oranı o saate atanmaktadır. Diğer bir deyişle, her bir grup için, GE'nin tüm yıl boyunca saatlik olarak gerçekleştireceği hareket, en düşük

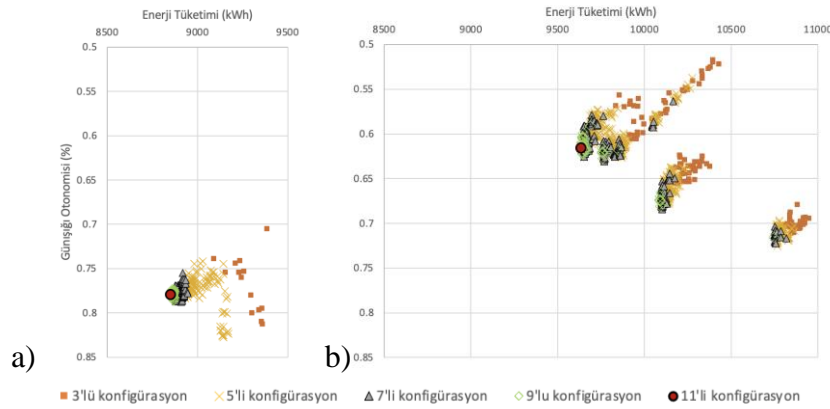


kamaşma ve en düşük enerji tüketimini elde etmek üzere belirlenmektedir. Devamında, yine her bir grup özelinde, tüm yıl boyunca 8:00-19:00 arasındaki saatler dikkate alınarak yıllık toplam enerji tüketimi ve yıl boyunca kamaşma eşik değerinin aşıldığı saat sayısının yanı sıra, aydınlık düzeyi üzerinden (500 lx eşik değeri üzerinden) DA değerleri hesaplanmaktadır. Özetle bu algoritma, ilk olarak kamaşmaya göre bir eleme yaptıktan sonra, asgari enerji tüketimini öncelikli olarak ele alan bir yapıya sahiptir; DA, yani doğal aydınlatma performansı ise, yalnızca yıllık hesaplamalar aşamasında dahil edilmektedir.

#### 4. BULGULAR

Hareketli GE için oluşturulan tüm sonuçlara bakıldığında, yalnızca sınırlı sayıda hareket grubunda kamaşma olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle, izleyen paragraflarda ve grafiklerde, hareketli GE'ler için yapılan değerlendirmelere kamaşma bulunan gruplar dahil edilmemiş ve buna yönelik bir tartışma yapılmamıştır.

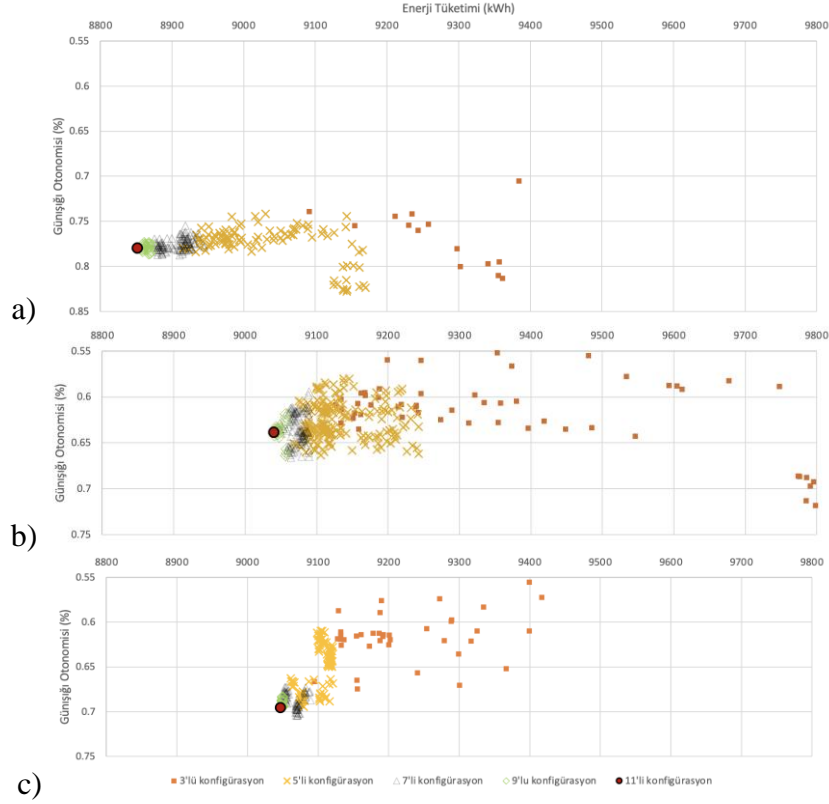
GE ünitelerinin boyutunun performansa etkisi incelendiğinde; güneye yönelimde 2x2 m'lik seçeneklerin yıllık enerji tüketiminin 8700-9400 kWh aralığında olduğu ve 9000 kWh'de yoğunlaştığı (**Şekil 5a**); 4x4 m'lik seçeneklerde ise 9600-11000 kWh aralığında kaldığı ve tek bölge yerine birden fazla bölgede kümelendiği görülmektedir (**Şekil 5b**). Güneş ışığı otonomisi açısından, 2x2 m'lik seçenek için alınan en düşük sonuç, diğer sonuçların kümelenmediği bölgeden uzak ve %70 iken; 4x4 m'lik sonuçlarda %55-50 aralığında çok sayıda hareket grubu bulunduğu anlaşılmaktadır. Hem enerji tüketimi hem de güneş ışığı otonomisi açısından 4x4 m'lik seçeneklerden elde edilen sonuçların 2x2 m'lik olanlara göre hedeflenen değer aralığından belirgin bir biçimde uzaklaştığı saptanmıştır. Benzer eğilim diğer iki yön için de görüldüğünden, izleyen değerlendirmeler yalnızca 2x2 m'lik seçenekler üzerinden sürdürülmüştür.



**Şekil 5:** Güney cephesi için tüm hareket gruplarının enerji tüketimi ve güneş ışığı otonomisi sonuçları: a) 2x2m'lik gölgeleme üniteleri; b) 4x4m'lik gölgeleme üniteleri.

2x2 m'lik seçeneklere ait sonuçların yönlere göre dağılımı incelendiğinde (**Şekil 6**); güney yönelimlilerde 11'li, 9'lu ve 7'li grupların her iki hedef için de optimum sonuç bölgesinde kümelenildiği; 3'lü ve 5'li gruplarda ise sonuçların daha geniş bir alana yayıldığı görülmektedir. Güneş ışığı otonomisi açısından 5'li gruplar diğerlerine kıyasla daha iyi sonuçlar vermekle birlikte, yıllık enerji tüketimleri (9100-9200 kWh) optimum bölgeye yaklaşanlara göre (8850-8950 kWh)

daha fazladır. Güney yönelimli 3'lü grupların, diğerleri gibi kendi içinde kümelenmiş sonuçlar vermemiş olmasından yola çıkılarak, bu grupların diğerlerine göre hedeflerden birini sağlamaya çalışırken diğerinden daha fazla uzaklaştığı söylenebilir. GE'lerin (3'lü gruplar hariç) güney yönü için elde edilen enerji tüketim sonuçlarının 8800-9200 kWh değerleri arasında dağılım gösterdiği, doğu ve batı yönelimlilerde ise, enerji tüketiminde 9000-9200 kWh aralığında kalan hareket grupları elde edildiği ve bu gruplarda güneşliği değerlerinin güney yönelimlilere göre birbirine daha yakın değerler sahip olduğu söylenebilir. Doğu ve batıda, düşük katlanma oranı sayısına sahip hareket gruplarının (özellikle 3'lü grubun) diğerlerine kıyasla güneşliği otonomisi ve enerji verimliliği bakımından daha olumsuz sonuçlar verdiği; dolayısıyla, bu yönler için tercih edilmeyecek seçenekler olduğu görülmektedir. Ancak, doğu yönelimli 3'lü hareket gruplarında daha fazla enerji tüketimi karşılığında, daha iyi güneşliği otonomisinin sağlandığı bir kümelenme de söz konusudur. Güneşliği otonomisi açısından doğu ve batı yönelimli GE'ler karşılaştırıldığında, doğu yönelimli GE'lerin çoğunlukla daha iyi sonuçlar verdiği, enerji tüketimi açısından da 3'lü ve 5'li gruplar dışındaki seçeneklerin birbirine yakın sonuçlar verdiği anlaşılmıştır. 3'lü ve 5'li gruplarda ise batı yönelimli grupların doğu yönelimlilere göre daha düşük enerji tüketimi sağladığı görülmüştür.



Şekil 6: 2x2m'lik GE ünitelerinin enerji tüketimi ve güneşliği otonomisi sonuçları: a) güney; b) doğu; c) batı

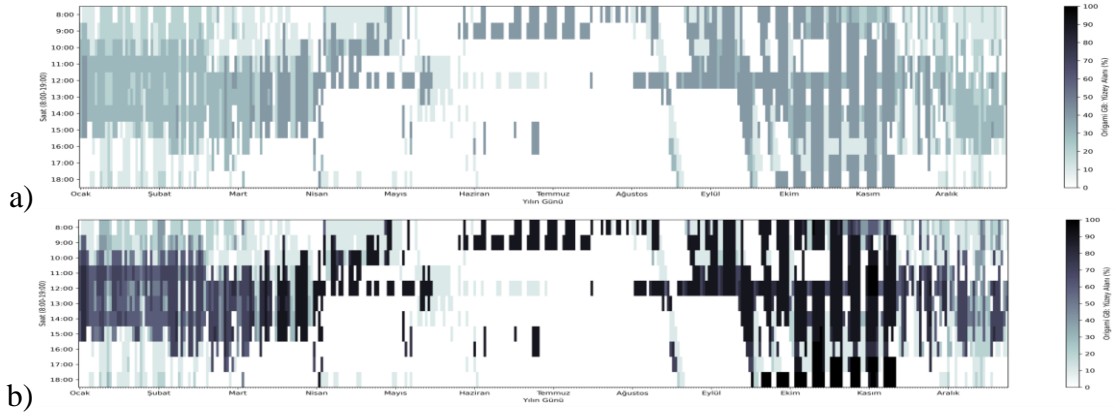
Kullanılan algoritmanın enerji tüketimini öncelikli olarak ele alan bir yapıya sahip olması nedeniyle, bir hareket grubunda bulunan katlanma oranı sayısının enerji tüketimine etkisini irdelemek üzere 11'li, diğer bir deyişle tüm katlanma oranlarını içeren grup referans olarak belirlenmiş ve diğer gruplarla karşılaştırılmıştır. Her üç yön için 3'lü, 5'li, 7'li ve 9'lu gruplar için alınan sonuçlar arasından, referans grubun DA değeri eşik kabul edilerek, en düşük enerji tüketimi sonucunu veren birer örnek hareket grubu seçilmiş; bunlar referans grupla enerji tüketimi açısından

karşılaştırılmıştır (**Tablo 2**). İlk olarak göze çarpan olgu, gruptaki katlanma oranı sayısı arttıkça enerji tüketiminde azalma eğilimi bulunmasıdır. Bunun yanı sıra, diğer gruplardan seçilen örneklerin referans değerlere oldukça yakın olduğu görülen yıllık enerji tüketimi sonuçlarının (referans değere göre azami %1,10 fark) aksine; 3'lü grup için seçilen örneklerin, yukarıda da açıklanan olguyla benzer olarak, referans değerlere kıyasla sırasıyla güney, doğu ve batı için %5,04, %6,44 ve % 5,59'luk daha yüksek enerji tüketimine sahip olduğu görülmüştür. Elde edilen bu sonuç önceki grafiklerden çıkarılan sonuçlarla tutarlılık tutarlılık içindedir.

**Tablo 2:** Her hareket grubu içinden seçilen optimuma yakın seçeneğin referans gruba ait enerji tüketim sonuçları ile karşılaştırılması.

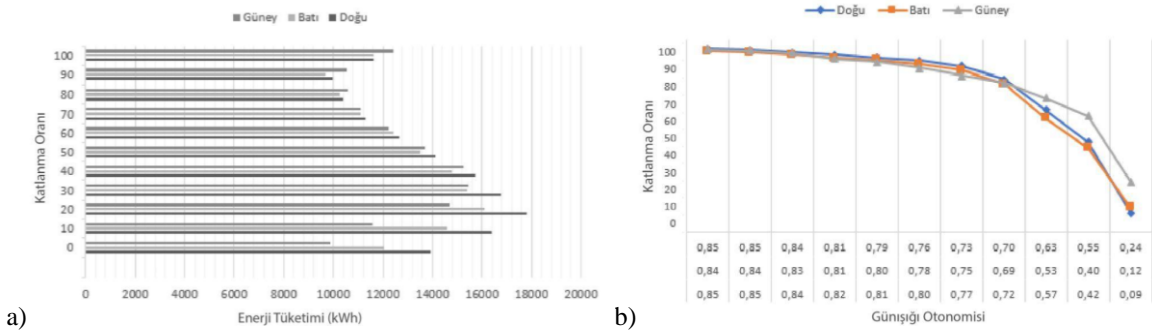
	11'li Grup (Referans)	Örnek 3'lü Grup		Örnek 5'li Grup		Örnek 7'li Grup		Örnek 9'lu Grup	
	Enerji Tüketimi (kWh)	Enerji Tüketimi (kWh)	Fark (%)	Enerji Tüketimi (kWh)	Fark (%)	Enerji Tüketimi (kWh)	Fark (%)	Enerji Tüketimi (kWh)	Fark (%)
Güney	8851,83	9297,74	5,04	8915.18	0,72	8878.73	0,30	8858.10	0,07
Doğu	9047,09	9629,50	6,44	9146.37	1,10	9067.72	0,23	9066.15	0,21
Batı	9040,53	9546,21	5,59	9068.14	0,31	9050.58	0,11	9041.31	0,01

5'li, 7'li ve 9'lu gruplardan örnek olarak seçilen bu hareket gruplarında, enerji tüketimi bakımından her ne kadar referans değerlere yakın sonuçlar alınsa da, kullanıcı konforunu psikolojik yönden etkileyen diğer bir etken olan dış görüşü değerlendirmek üzere; bu grupların tüm yıl boyunca saatlik olarak katlanma oranları, katlanma oranlarını açıklık-koyuluk üzerinden temsil eden grafikler oluşturularak incelenmiştir. **Şekil 7'**de örnek olarak güney yönü için 5'li grup için seçilen örnek hareket grubu ile referans grubun tüm yıl boyunca saatlik katlanma oranları gösterilmiştir. Her iki seçenek için ortak olarak, güney yönlü cepheye gelen güneş ışınların yazın daha dik açılarla gelmesi daha az gölgeleme; kışın düşük açılarla gelmesi ise daha fazla gölgeleme yapılmasıyla sonuçlanmıştır. Yine, 11'li yerine 5'li grup tercih edilmesiyle, oldukça az bir enerji tüketimi artışı karşılığında (%0,72) daha az gölgeleme yapılması ile kullanıcıların dış görüşünde ve dolayısıyla görsel konforunun diğer bir unsuru açısından oldukça olumlu bir iyileştirme yapılabilmesi söz konusudur. Bu olgunun, yalnızca bu örnek için değil, her üç yön ve tüm hareket grupları için de geçerli olduğu gözlenmiştir.



**Şekil 7:** Güney yönü için, tüm yıl boyunca saatlik GE katlanma oranı programları: a) Örnek olarak seçilen 5'li hareket grubu; b) 11'li hareket grubu

GE'lerin sabit olması durumundaki enerji tüketimleri de, üç yön ve 11 katlanma miktarı için incelenmiştir (Şekil 8). Enerji tüketiminin her üç yönde de, beklendiği gibi, katlanma miktarı arttıkça arttığı, en yüksek enerji tüketimi sonuçlarının doğu yönelimli GE'lerde ve 17800-9700 kWh aralığında olduğu görülmektedir. En düşük enerji tüketimi sonuçlarının elde edildiği katlanma miktarlarında ise, günışığı otonomisi açısından çok düşük (%50-10 aralığında) değerlere ulaşıldığı, ünitenin tam açık olduğu durumda ise bu değerlerin %0,9'a kadar düştüğü görülmüştür. Hareketli GE'lerle elde edilen gruplarda kamaşma olan hareket oranlarını elemeye yönelik bir seçim gerçekleştirilmesi neticesinde, kamaşma olan toplam saat sayısı, hareketsiz olan GE sonuçlarına göre oldukça düşüktür (200-1500 saat). Dolayısıyla tasarlanan GE'nin yıl boyunca aynı katlanma miktarında sabit kaldığı durumlar hem enerji tüketimi hem görsel konfor açısından hedeflenen değerleri sağlamada genellikle yetersiz kalmaktadır.



Şekil 8: Yıl boyunca sabit kalan GE'lerde üç yön ve on bir katlanma oranı için; a) enerji tüketimi ve b)günışığı otonomisi sonuçları.

## 5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışma, origami desenine sahip GE'lerin hareketi için oluşturulan kontrol stratejilerinin sıcak-nemli bölgede bulunan ofis binalarındaki enerji verimliliğine ve kullanıcı görsel konforuna etkisini incelemek amacıyla yürütülmüştür. Bu amaçla, üç cephe yönü, 11 katlanma oranı ve iki ünite boyutu için tüm yıl boyunca saatlik benzetimler yapılmış; sonuçlar bir seçme/eleme algoritması kullanılarak 5 farklı kontrol stratejisi üzerinden düzenlenmiş, oluşturulan hareket gruplarının yine tüm yıl boyunca saatlik olarak hareketi tarif edilmiştir. Devamında, her bir değişkenin sonuçlara olan etkisi karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Çalışma sonuçlarına göre, ünite boyutlarının artmasının, ofisin hem enerji tüketimi hem de doğal aydınlatma performansını olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Ayrıca, cephe yönüne bağlı olarak, güney yönündeki hareket gruplarının doğu ve batı yönündekilere göre daha az değişikliğe neden olması sebebiyle DA'ya etkisi de daha azdır. Bununla birlikte güney yönelimli GE'lerin doğu ve batı yönelimli GE'lere kıyasla (3'lü hareket grupları hariç) enerji tüketimine etkisinin daha fazla ve olumlu yönde olduğu gözlenmiştir.

Kullanılan seçim algoritması her ne kadar enerji tüketimini gözeterek tüm yıl boyunca saatlik bir hareket programı çıkarsa da, oluşturulan hareket gruplarının çoğunlukla %50'nin üzerinde DA değerine sahip olduğu ve yalnızca sınırlı sayıda hareket grubunda kamaşma gerçekleştiği anlaşılmıştır. Buna rağmen izleyen çalışmalarda, alınan bu sonuçların enerji tüketimi yerine DA öncelikli olacak şekilde ele alınarak bir eleme/seçme yapılan senaryo ile karşılaştırılması; ayrıca, her iki ölçütün de baştan algoritmaya dahil edilerek elde edilecek sonuçların değerlendirilmesi

planlanmaktadır. Böylece, GE'nin hareketi için saatlik olarak belirlenecek kontrol stratejilerinin daha kapsamlı olarak değerlendirilmesi ve değerlendirme aşamasında enerji tüketimi ile görsel konfor hedeflerinin benzer öneme sahip olması sağlanabilecektir.

Gelecekteki çalışmalarda GE tasarımının GE ile cephe düzlemi arasındaki mesafe, GE'nin cephe düzlemi ile yaptığı açı, desendeki veya deseni oluşturan yüzeylerdeki doluluk/boşluk oranı, desenlerin tekrar ediliş düzeni, origami deseni veya hareket çeşidi gibi değişkenler de dahil edilerek geliştirilebileceği öngörülmüştür. Çalışılan alüminyum GE'de malzeme değişikliği yaparak farklı opaklık, yansıtıcılık ve ısıl özelliklere sahip malzemeler ile malzeme değişkeninin enerji tüketimi ve görsel konfora etkisinin de ele alınması düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

1. IEA (International Energy Agency), "World Energy Outlook", *Directorate of Sustainability, Technology and Outlooks International Energy Agency 9*, (2022), rue de la Fédération, 75739, Paris, Cedex 15, France.
2. L., Pérez-Lombard, J., Ortiz, & C., Pout, "A review on buildings energy consumption information", *Energy and Buildings*, **40**(3), (2008), 394–398.
3. F., Fiorito, M., Sauchelli, D., Arroyo, M., Pesenti, M., Imperadori, G., Masera, & G., Ranzi, "Shape morphing solar shadings: A review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **55**, (2016), 863-884.
4. R.G.C.M., Loonen, M., Trcka, D., Cóstola & J., Hensen, "Climate adaptive building shells: State-of-the-art and future challenges". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. **25**. (2013) 483–493.
5. R. A., Santos, I., Flores-Colen, N., Simões & J. D., Silvestre, "Auto-responsive technologies for thermal renovation of opaque facades", *Energy and Buildings*, **217**, (2020).
6. G. Masera, M. Pesenti, F. Fiorito, "Exploration of Adaptive Origami Shading Concepts through Integrated Dynamic Simulations", *Journal of Architectural Engineering*. **24**, (2018).
7. Pesenti, M., Masera, G., Fiorito, F., "Shaping an Origami Shading Device through Visual and Thermal Simulations". *Energy Procedia*, **78**, (2015), 346-351.
8. X., Shi, A., Tablada, & L., Wang, "Influence of two motion types on solar transmittance and daylight performance of dynamic facades", *Solar Energy*, **201**, (2020), 561-580.
9. Y., Elghazi, & A., Mahmoud., "Origami Explorations A Generative Parametric Technique For kinetic cellular façade to optimize Daylight Performance", 34th Annual eCAADe Conference, (2016).
10. B., Kahramanoğlu, & A.N. Cakici, "Enhancing visual comfort with Miura-ori-based responsive facade model" *Journal of Building Engineering*, **69**, (2023).
11. D., Dureisseix, "An overview of mechanisms and patterns with origami", *Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures*, (2012) Lyon, France.
12. P. Jackson, "Folding Techniques for Designers from Sheet to Form", Laurence King Publishing Ltd, London, UK, (2011).
13. F. Ochs, M. Magni, P. Bonato, M. D'Antoni, D. Geisler-Moroder, M. Hauer, S. de Vries, R. Loonen, "System Simulation Models", (2020).
14. BSI, Daylight in Buildings (BS EN 17037:2018), (2018).
15. N. L. Jones, "Fast climate-based glare analysis and spatial mapping", *Building Simulation Conference Proceedings*, **2**, 982-989, (2019).
16. <<https://www.ladybug.tools/epwmap/>>, erişim tarihi 01.03.2024.
17. O. Yalçın, Hareketli gölgeleme bileşenlerinin şekil hafızalı alaşımlar ile etkinleştirilmesi: bir eyleyici mekanizma önerisi. [Yüksek lisans tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi. (2024).

# **BİNA YÖNELİMİNİN ILIMAN-KURU, SICAK-KURU VE SOĞUK İKLİM TİPLERİNE GÖRE TAŞ BİNA KABUĞUNUN HİGROTHERMAL ENERJİ PERFORMANSINA ETKİSİ**

Tuğba Yıldız<sup>1</sup>  
Leyla Tanaçan<sup>2</sup>  
İTÜ Mimarlık Fakültesi  
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

## **ÖZET**

Günümüzde yapıların iklim değişikliği nedeniyle maruz kaldığı etkilere karşı, binaların dayanıklılığı ve enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik çalışmalar önem kazanmıştır. İklim koşulları, kabuğu oluşturan malzemeler, bina formu, bina yüksekliği, cephenin saydam/opak oranı gibi etkenlerin yanı sıra, bina yönelimi yapının higrotermal (nem ve ısı) enerji performansını etkileyen önemli faktörlerden biridir. Bu çalışmada, Kayseri'deki (ılıman-kuru iklim) korunarak günümüze ulaşmış kültürel miras yapısının en uygun yönelimini saptamak için kabuk bazında higrotermal enerji performans analizi yapılmıştır. Yapılan analizler ısı kazanç-kayıpları, en düşük, en yüksek, ortalama sıcaklık ve nem miktarları, binanın toplam ısıtma-soğutma yükü, güneş ışınımı kazanımı, küf indeksi değerleri bakımından sıcak-kuru (Diyarbakır ili), soğuk (Erzurum ili) iklim bölgeleriyle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma tarihi yapının ön cephesinin dört ana ve dört ara yöne yönelim senaryolarına göre yapılmıştır. Karşılaştırmalar, her üç sıcaklık bölgesinde de 225° ile 270° arasındaki yönelimlerin enerji açısından daha verimli olduğunu ve 225°de küf indeksinin ( $MI > 3$ ) eşik değerini karşıladığını veya ona yaklaştığını göstermektedir.

*Anahtar sözcükler: Bina yönelimi, Bina kabuğu, Higrotermal performans, Güneş ışınımı, Sürdürülebilirlik*

## **ABSTRACT**

Research on strengthening a building's resilience to the effects of climate change and enhancing its energy efficiency has become more important today.-One of the key elements influencing the building's hygrothermal (humidity and heat) energy performance is building orientation, in addition to variables like weather, the materials that make up the shell, building form, height, and the transparent/opaque ratio of the facade This study determined the best orientation for the conserved cultural heritage building in Kayseri, which is located in a temperate-dry climate, using an envelope-based hygrothermal energy performance analysis The analyses were compared with climate zones in Diyarbakır province (hot and dry) and Erzurum province (cold) with respect to heat gain-loss, lowest, maximum, average, and humidity amounts, building's overall heating and cooling load, solar radiation gain, and mold index values. The comparison was conducted based on the orientation scenarios of the historical building's front façade in four primary and four intermediate directions. The comparisons show that in all three temperature zones, orientations between 225° and 270° are more energy-efficient, and at 225°, the mould index ( $MI > 3$ ) either meets or approaches the threshold value.

*Key words: Building Building orientation, Building envelope, Higrothermal performance, Solar radiation, Sustainability*

<sup>1</sup> e-posta adresi: yildizt19@itu.edu.tr, tyildiz@ktun.edu.tr

<sup>2</sup> e-posta adresi: tanacan@itu.edu.tr

## 1.GİRİŞ

Binalardaki enerji tüketimi dünyada büyük bir endişe kaynağıdır. Binaların, birincil enerjinin yaklaşık %40'ını ve sera gazı emisyonlarının %36'sını oluşturduğu tahmin edilmektedir [1]. Bu durum binaların enerji verimli ve çevresel etkisi en az şekilde tasarlanmasına yönelik çalışmalarını önemli hale getirmiştir. Güneşin yerleşme ve konut tasarımı üzerindeki etkisi hakkında mimarlık tarihinin en eski dönemlerinden günümüze değin çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Güneş ve yönlendirmede, iklim, bina formu, bina kabuğu, zemin, yön, plan türü, doğal havalandırma ve doğal aydınlatma parametreleri etkin rol oynamaktadır.

Doğal ısıtma ve soğutmadan yararlanmak için bina yönelimini doğrudan bölgesel iklimle ilişkilendiren çalışmalar mevcuttur [2]. Yarı kurak iklime sahip Cezayir'de bina yöneliminin, iç mekan sıcaklığına ve güneş enerjisi kazanımına etkisi incelendiğinde kuzey ve güney yönünün en elverişli sonuçları verdiği görülmüştür [3]. Irak'ın yazları sıcak-kuru, kışları nemli-soğuk ikliminde bulunan bir binanın her 5° yönelimi incelendiğinde uygun yönelimlerin kuzeyden saat yönünde 70°-160°, 160°-250°, 250°-340°'lerde olduğu görülmüştür [4]. Mısır'ın sıcak-kuru iklimindeki bir binanın her 15° yönelimi incelendiğinde en az soğutma yüküne kuzey yönünün ve 15-30°'lik açılarda bulunan (Kuzey + Doğu) yönünün, en az ısıtma yüküne ise güney yönünün ve güneye 15 ve 30°'lik açı yapan (Güney + Batı) yönünün sahip olduğu saptanmıştır [5]. Malezya'da sıcak nemli iklimde bulunan yüksek katlı kare ve dairesel biçimli binalara güneş ışınımının etkisi üzerine yapılan çalışmada, en yüksek güneş ışınımının doğu yönlü duvarda olduğu, bunu sırasıyla güney, batı ve kuzey yönlü duvarların takip ettiği görülmüştür [6]. Irak'ta Akdeniz ve yarı kuru iklime sahip Kerkük şehrindeki 10 katlı bina, altı farklı form şeklinde oluşturulmuştur. Tükettiği enerji 15°'lik açılarla incelenmiştir. En düşük enerji tüketimine sahip modelin T-şekilli ve 285° açısında olduğunu görülmüştür [7]. Avlulu yapıda bina çevreleme tipinin ve yöneliminin iç mekan termal ortamı üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmada, "T" avlu tipindeki en iyi yönelimin doğu, "I" tipi ve "L" tipindeki en iyi yöneliminin kuzey, "C" tipi ve "O" tipindeki en iyi yöneliminin güney olduğu saptanmıştır [8]. Çin'de bulunan ofis binasının enerji tüketimi dört ana yön için yapılan optimizasyon çalışmasında, dış duvar U değerlerinin güney yönünde en yüksek olduğu görülmüştür. Güney yönünü doğu ve batı yönlerinin takip etmiş ve en düşük U değeri kuzey yönünde olmuştur [9]. Kışları soğuk yazları sıcak Tebriz kentinde binanın en doğru bina yönelimini ve H/W oranını (binanın yüksekliğinin birbirine olan mesafesine oranı) bulmak için gerçekleştirilen çalışmada en uygun H/W (yükseklik/en) oranı için 1.5, en iyi yönelim açısının ise 135° olduğu bulunmuştur [10].

Pencere boyutunun, konumunun ve yönünün binanın enerji yükü üzerine etkisi önemlidir. Kanada'da iki katlı binanın pencereleri tüm yönlerde orta yükseklikte konumlandırıldığında, doğu yönündeki pencerelerin toplam enerji yüküne etkisinin en fazla olduğu gözlenmiştir [11]. Çin'de bulunan kırsal konutlar için en uygun saydam/opak oranını bulmak amacıyla bina yönelimi kuzeyden saat yönünde 20°'lik açılarla incelenmiştir. Aynı saydam/opak oranına sahip alternatiflerde en uygun sonuçlar doğudan güneye 20° yönelimde olmuştur [12].

Bina kabuğu için yönelim ve rüzgar hızının, ısıtma, soğutma ve maruz kalınan yağmur yüküne etki ettiği bilinmektedir. Güney yarım kürede bulunan Avustralya'da, bina yönelimi ve rüzgar hızının termal performans üzerindeki etkisini bulmak için yapılan çalışmada kuzey yönündeki kabuğun kışın güneşten yararlanıp binanın ısınmasını ve rüzgâr akımından kaçınılmasını sağladığı tespit edilmiştir[13]. Birleşik Arap Emirlikleri'nde faz değiştiren malzemenin (FDM) enerji

tüketimindeki etkisinin dört ana yön ve yatay yönde analiz edildiği çalışmada FDM'nin eklenmesinin iç duvar sıcaklık dalgalanmasını azalttığı görülmüştür. En fazla enerji tasarrufunu yatay olarak bina çatısına ve güneğe yönelimde uygulanan FDM'ler sağlamıştır [14].

Bina enerji iyileştirmesi amacıyla tarihi binalara müdahale kısıtlılığı, enerji verimliliğini artırmanın mevcut zorluklarından biridir. Tarihi yapıdaki nem sorunu olmayan duvarların iç yalıtım çözümlerinin belirlenmesi amacıyla, membranlı şekilde veya içi membransız şekildeki yalıtım malzemeleri ve emprenye uygulaması değerlendirilmiştir. Su itici emprenye uygulamasının bina kabuğunun bütünlüğünü garanti altına almak için gerekliliği vurgulanmıştır [15]. Yapı malzemelerinin higrotermal özellikleri binanın enerji verimliliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Bazı ülkelerde binalardaki higrotermal risk için yasal olarak tedbirler alınmıştır. Avustralya'da Ulusal İnşaat Yasasıyla, binaların, mevcut iklim bölgeleri için farklı nem profilleri içeren higrotermal risk göstergeleri için uygunluğu araştırılmıştır. Araştırma sonucunda, Avustralya'daki farklı iklimlerin nem riskinin daha iyi temsil edilmesi için bina yönetmeliğinde yeni iklimsel risk karakterizasyonu yapılması gerektiği saptanmıştır [16].

Kayseri ili 1.derece koruma bölgesinde bulunan Camcıoğlu Konağı kabuğunun, higrotermal analizi yapılarak binanın enerji performansı için en uygun yönelimi hakkında farklı iklim bölgeleri için değerlendirme yapılmıştır. Böylece, kabuk konstrüksiyonunda, yapıldığı zamanın olanaklarıyla mevcut doğal malzemenin kullanıldığı ve ılıman-kuru iklim bölgesinde yer alan bu binanın, farklı iklim koşulları altında ve farklı yönelim içinde bulunduğu durumdaki higrotermal performansının analizinin, kültürel mirasın korunması, yanı sıra, yeni yapılacak çağdaş binaların enerji performansına yönelik araştırmalar için faydalı olacağı düşünülmektedir.

## 2. YÖNTEM

### 2.1. Referans Binanın Seçimi

Çalışma alanı olarak Türkiye'nin Kayseri ili kentsel sit alanı içerisindeki Tavukçu Mahallesi belirlenmiştir. Koruma imar planı raporunda sit alanının özellikleri; kentte eski dokusunu büyük ölçüde koruyan tek bölge olması, 19.yy. sonu ve 20. yy. başı olarak aynı tarihi dönemi karakterize etmesi ve evlerde ahşap, taş, yağlı boya resimler şeklinde bezeme örneklerinin bulunması olarak özetlenmiştir. İmar planında sit alanı 3 bölgeye ayrılmıştır. Analiz için 1.derece koruma bölgesi sınırları içinde bulunan Camcıoğlu Konağı seçilmiştir (**Şekil 1**).



Şekil 1. Camcıoğlu Konağı Ön Cephesi ve 1. Kat Planı



19.yy. sivil mimari örneği olan Camcıoğlu Konağı 2007 yılında restore edilmiştir. Rölöve ve Restorasyon Projeleri İstanbul Teknik Üniversitesi tarafından hazırlanmıştır. Halihazırda ofis olarak kullanılan konak, bodrum, zemin ve zemin üstü kat olmak üzere toplam üç kattandır. Binada teras çatı mevcuttur. Bulunduğu sokakta yapılaşma bitişik nizamdadır. Binaların düşey taşıyıcı sistemi, bodrum katlarda yerel kaynaklı moloz taş duvarlardan, diğer katlarda ise kesme taş duvarlardan oluşmaktadır. Taşıyıcı duvar kalınlıkları, moloz taş olan bodrum kat duvarlarında 50-80 cm, ince yonu taş ile örülmüş zemin ve birinci kat duvarlarında 15-25 cm'dir. Binaların döşeme sistemleri bitişik veya aralıklı şekilde duvarlara bindirilen tomruk şeklindeki ağaç kirişlerden meydana gelmektedir. Aynı kattaki döşemelerin kotları farklılık göstermektedir. Teras ve döşeme toprak dolguları günümüz malzemeleri ile yeniden detaylandırılmış durumdadır.

## 2.2. Kullanılan Simülasyon Programı Seçimi

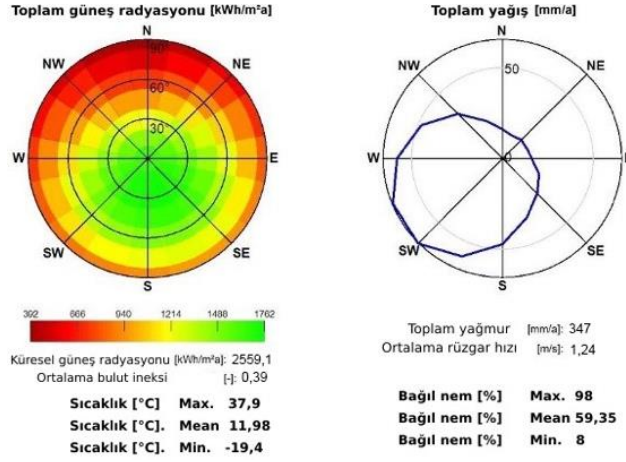
Tarihi konağın higrotermal performansının analizi için WUFI® Plus simülasyon yazılımı kullanılmıştır. Yazılım, tüm bina kabuk sistemlerini, iç ve dış ortam çevresel yükleriyle ve HVAC sistemleriyle birleştirmiş olan bütünsel bir performans modellemesidir. Bina kabuğundaki buhar difüzyonu, sıvı akışı ve ısı aktarımı için birleştirilmiş ısı ve kütle geçişi, modelin güçlü bir özelliğidir. HAM modellerinin sahip olması gereken en önemli on üç özellik hakkında geniş bir araştırma yapılmış ve gelişmiş on iki farklı ısı-hava-nem (Heat-Air-Moisture-HAM) modeli arasında, WUFI modelinin en gelişmiş model olduğu sonucuna varılmıştır[17].

Kabuk performans analizi için ilk olarak tarihi binanın restorasyon projesi esas alınarak, Skech Up mimari tasarım yazılımında üç boyutlu hale getirilmiş ve Wufi Plus simülasyon yazılımına aktarılmıştır. Her bir yapı elemanı (duvar, pencere, döşeme, çatı) için binanın restorasyon projesine uygun malzemeler atanmıştır. Atama yapılırken Wufi malzeme veri tabanındaki her malzeme için tanımlı birim hacim ağırlık, porozite, özgül ısı kapasitesi, ısıl iletkenlik, su buharı difüzyon direnç faktörü değerleri dikkate alınmıştır (**Çizelge 1**).

**Çizelge 1.** Wufi veritabanından seçilen malzeme özellikleri

Malzeme	Birim Hacim Kütle	Porozite	Özgül Isı	Isıl iletkenlik	Buhar Difüzyon Direnç Faktörü	Nemden bağımsız ısıl geçirgenlik	Başlangıç Nem İçeriği
	p	P	Cp	$\lambda$	$\mu$	b	MC
	[kg/m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	[J/(kg K)]	[W/(m K)]	[-]	[%/M.-%]	[kg/m <sup>3</sup> ]
Çakıl	1400	0,3	1000	0,7	1	–	5
Pomza katkılı harç	1024	0,61	850	0,17	6,1	8	29
Jeotekstil keçe	70	0,95	2500	0,04	1,5	1	–
Su yalıtımı.	2400	0,01	1000	0,5	100000	–	–
Meyil şapı	1436	0,42	850	0,6	25	8	19
Gazbeton	115	0,96	850	0,04	4,1	1,2	8,1
Ahşap kaplama	400	0,9	1880	0,08	552	–	55,8
Ahşap kiriş	685	0,72	1400	0,13	140	1,3	–
Ahşap kadron	685	0,72	1400	0,3	8	1,3	–
Sal taşı kaplama	1450	0,45	925	0,33	10	8	76
Betonarme döşeme BS25 10 cm	1990	0,175	850	1,6	99	–	–
Toprak	1579	0,404	850	0,5	50	–	–
Andezit taş	2453	0,095	702	1,66	54	8	7,3
Harç	1566	0,39	850	0,5	7,4	–	6,19
Alçı	850	0,65	850	0,2	8,3	8	–
Hava tabakası	1,3	0,999	1000	0,07	0,73	–	–
Hava tabakası(gömme dolap içi)	1,3	0,999	1000	1,9	0,06	–	–

Ilıman-kuru iklim bölgesindeki Kayseri ili için iklim verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. İklim dosyasında sıcaklık, bağıl nem, rüzgar yönü ve hızı, yağış, küresel güneş radyasyonu, dağınık güneş radyasyonu, bulutluluk verileri saatlik olarak kullanılmıştır. Bina yöneliminin binanın higrotermal performansına etkisini farklı iklim bölgeleriyle karşılaştırmak amacıyla sıcak-kuru iklim bölgesinde bulunan Diyarbakır ili ve soğuk iklim bölgesinde bulunan Erzurum ili seçilmiştir. Şekil 2'de, Kayseri ili için tanımlanan iklimsel verilerin Wufi yazılımı tarafından derlenmiş hali görülmektedir. İklim verileri 1 Ocak 2021 gece saat 01.00'den başlayıp, 1 Ocak 2022 gece saat 01.00'e kadar olan süreyi kapsamaktadır.



Şekil 2. Kayseri ili için Wufi Plus iklim verisi

### 2.3. Bina Kabuğunda Isı ve Nem Performansı Değerlendirmesi

Bina ana cephesi mevcut durumda kuzey batı yönü doğrultusundadır. Binanın higrotermal performansının değerlendirilmesi için simülasyon programında bina ve yapı elemanları bazında analizler yapılmıştır. Bina içi, tek bir hacim olarak (zone) olarak kabul edilmiştir. Enerji hesaplaması için tanımlanan kabuller Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Simülasyon için tanımlanan kabuller

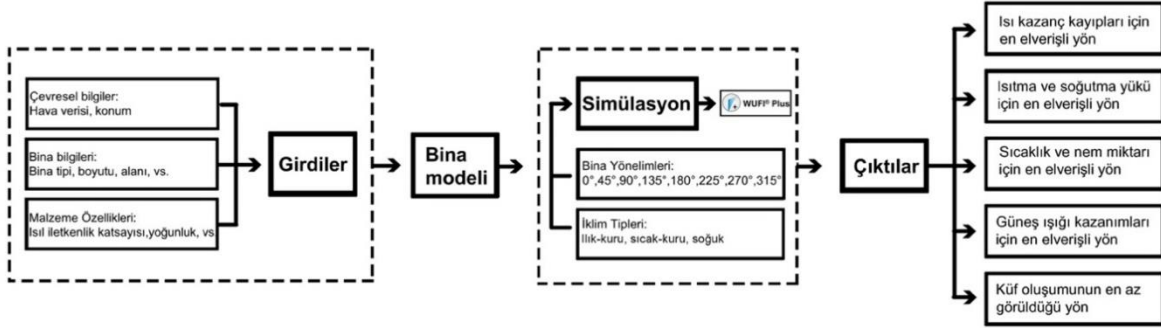
Isıtma için en düşük sıcaklık	Isıtma için en yüksek sıcaklık	Soğutma için en düşük sıcaklık	Soğutma için en yüksek sıcaklık	Kısa dalga (güneş) radyasyonu	Uzun dalga (güneş) radyasyonu	Saydam/pak oranı	Pencere yüzdeleri (yönlere göre)
17 °C	21°C	25 °C	27 °C	0.4	0.9	1/16	Kuzeybatı %56, Güneydoğu. %24, Güneybatı %15 Kuzeydoğu. %5
Yağmur suyu emme faktörü	Hava sızıntı üssü	Hava değişimi (ACH50)	Başlangıç sıcaklık	Başlangıç nem	Yapı kullanım türü	Yapıyı kullanan kişi sayısı	
0.7(eğime göre)	0,67	1,5	20°C	%80	Konut binası	5	

Kabuk elemanları teras çatı, zemine oturan döşeme, dış duvarlar ve bitişik binaya bakan duvarlardır. Dış duvarlar iç bitirme malzemesine göre farklılaşmaktadır. Kabuk opak eleman alanı kabuk saydam eleman alanının yaklaşık 16 katıdır. Binada toplam 49 m<sup>2</sup>, ısı yalıtımlı çift camlı ahşap çerçeveli pencere mevcuttur. Halihazırdaki bina yönlerine göre, pencere yüzdeleri: kuzeybatıda %56, güneydoğuda %24, güneybatıda %15, kuzeydoğuda %5'dir.

Çalışmada, binanın her bir iklim bölgesindeki dört ana ve dört ara yönü için kuzeyden saat yönünde 45° açılar yönelimiyle binadaki:

- Toplam ısıtma - soğutma yükü;
- Isı kazanç – kayıpları;
- En düşük, en yüksek ve ortalama sıcaklık ve nem miktarları;
- Güneş ışığından ısı kazanımı değerleri;
- Küf indeksi;

analiz edilmiştir. Bulunan veriler üç iklim bölgesi olarak karşılaştırılmıştır. Araştırmada izlenen yöntemin adımları **Şekil 3**'de verilmektedir.



Şekil 3. Araştırma yöntemi akış şeması

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

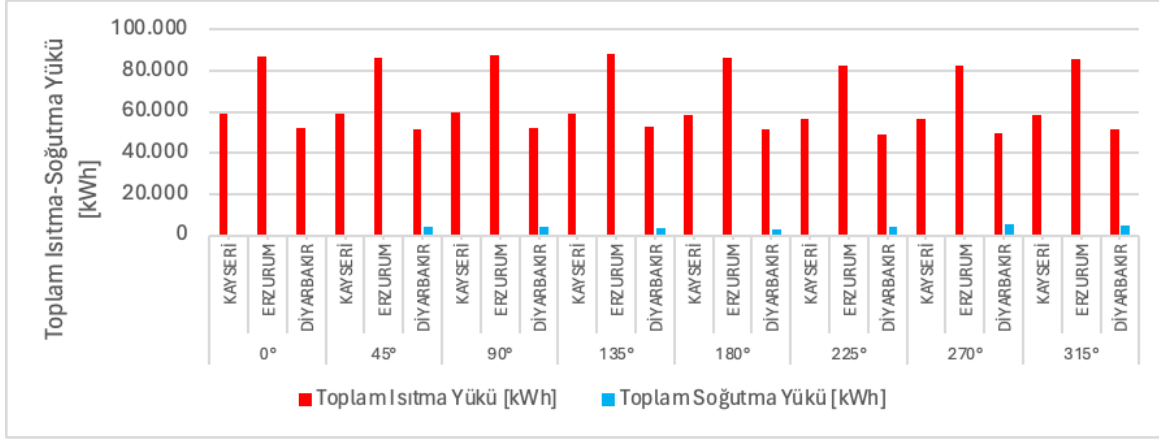
Wufi yazılımı ile analizi yapılan binanın higrotermal performansının değerlendirilmesine ait sonuçlar aşağıdaki bölümlerde verilmektedir.

#### 3.1. Binanın toplam ısıtma - soğutma yükü

Şekil 4'de binanın ısıtma-soğutma yükündeki simülasyon sonuçları dört ana yön ve dört ara yön olarak üç il için görülmektedir. Isıtma yükü miktarı kırmızı, soğutma yükü miktarı mavi renk ile temsil edilmiştir. Binanın toplam ısıtma yükü en yüksek değerine Kayseri ilinde 90°, Erzurum ve Diyarbakır ilinde 135° yönündeyken ulaşmıştır. En düşük yıllık toplam ısıtma yükü değerlerinin ise Kayseri ve Erzurum ilinde 225°, Diyarbakır ilinde 270° yönündeyken olduğu görülmüştür. Bu duruma bitişik nizamlı binanın %56 oranında saydamlık oranına sahip cephesinin batı, %15 saydamlık oranına sahip cephesinin güney ve %24 saydamlık oranına sahip cephesinin doğu yönelimli olması sebep olarak gösterilebilir. En yüksek ısıtma yükü Erzurum ilinde 88534 kWh hesaplanmıştır. Kayseri'deki en yüksek ısıtma yükü Erzurum'dakinin yaklaşık %67'sine, Diyarbakır'dakinin ise %60'ına eşittir.

Soğutma yükü en yüksek değerine Kayseri ve Diyarbakır ilinde 270° yönündeyken (batı) ulaşmıştır. Erzurum ilinde soğutma yükü her yönde sıfır değerinde bulunmuştur. Kayseri'deki

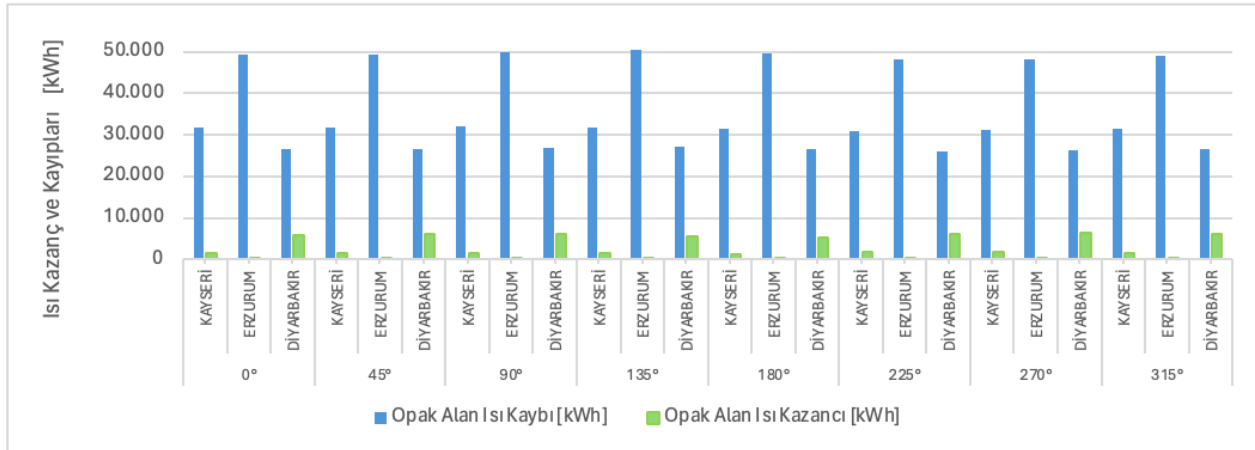
soğutma yükü Diyarbakır'daki 5692 kWh'in %3'üne eşittir. Bu duruma Erzurum'un soğuk Diyarbakır'ın sıcak iklim bölgesinde bulunmasının etkili olduğu söylenebilir.



Şekil 4. Toplam ısıtma soğutma yükü

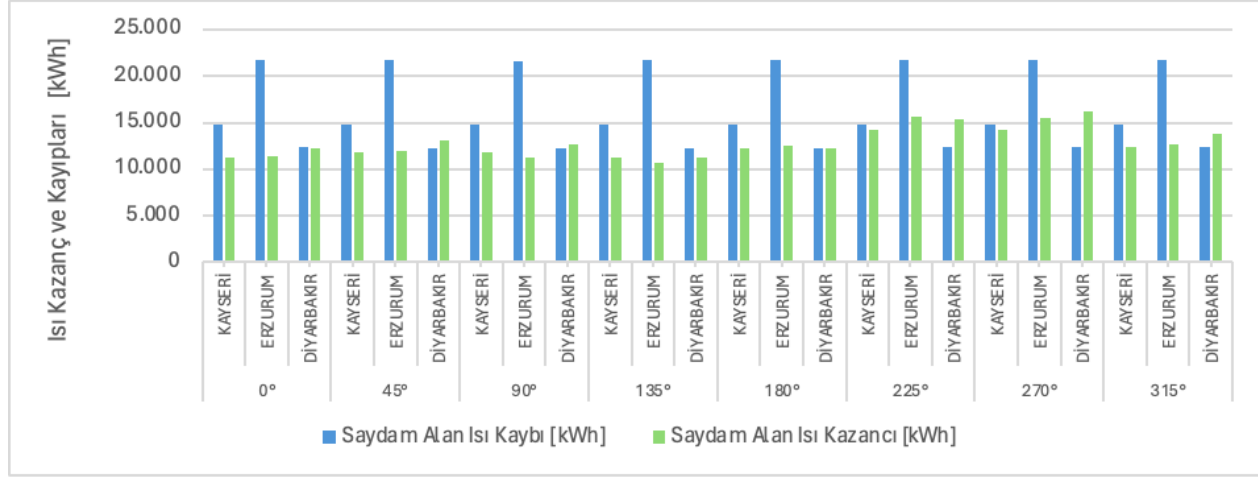
### 3.2. Binanın ısı kazanç – kayıpları;

Binanın yıllık kazanılan ve kaybedilen ısı enerjisi miktarları bina kabuğunun opak ve saydam alanları şeklinde, dört ana yön ve dört ara yön olarak üç il için Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmektedir. Kazanılan ısı miktarları yeşil, kaybedilen ısı miktarları mavi renk ile temsil edilmiştir. Hesaplama yapılan binada yıllık opak alanlardan kaybedilen ısı miktarı, Kayseri ilinde (ılıman-kuru) bina 90° yönündeyken, Erzurum (soğuk) ve Diyarbakır (sıcak-kuru) ilinde 135° yönündeyken en yüksek değere ulaşmıştır. Kazanılan ısı miktarı ise her üç il için de 270° yönündeyken en yüksek değere olduğu görülmüştür. Bu duruma %56'lık saydamlık oranına sahip bina ön cephesinin ve %24 ve %15 saydamlık oranına sahip diğer cephelerin yönleri sebep olabilir. En yüksek ısı kaybı 50548 kWh ile Erzurum'da olmuştur. Kayseri'deki kayıp, Erzurum'dakinin yaklaşık % 99'una, Diyarbakır'daki ise % 54'üne eşittir. En yüksek ısı kazancı 6552 kWh ile Diyarbakır'da olmuştur. Diyarbakır'ın sıcaklık ortalamasının kıyas edilen iki ille göre yüksek olması bu duruma neden olarak gösterilebilir. Kayseri'deki kazanç, Diyarbakır'dakinin yaklaşık %29'una, Erzurum ise % 5'ine eşittir.



Şekil 5. Opak alan ısı kazanç kayıpları

Simülasyon programına aktarılan binada yıllık saydam alanlardan kaybedilen ısı miktarı, bina Kayseri ilinde 270°, Erzurum ilinde 225° ve Diyarbakır ilinde 270° yönüdeyken en yüksek değere ulaşmıştır. Her üç il için saydam alanlardan kazanılan ısı miktarı yönü, kaybedilen ısı miktarının maksimum olduğu yönlerle aynı olmuştur. En yüksek ısı kaybı 21762 kWh ile Erzurum'da olmuştur. Kayseri'deki kayıp Erzurum'dakinin yaklaşık %68'ine, Diyarbakır'daki ise % 56'sına eşittir. En yüksek ısı kazancı 16257 kWh ile Diyarbakır'da olmuştur. Kayseri'deki kazanç Diyarbakır'dakinin yaklaşık %87'sine, Erzurum'daki ise % 95'ine eşittir.



Şekil 6. Saydam alan ısı kazanç kayıpları

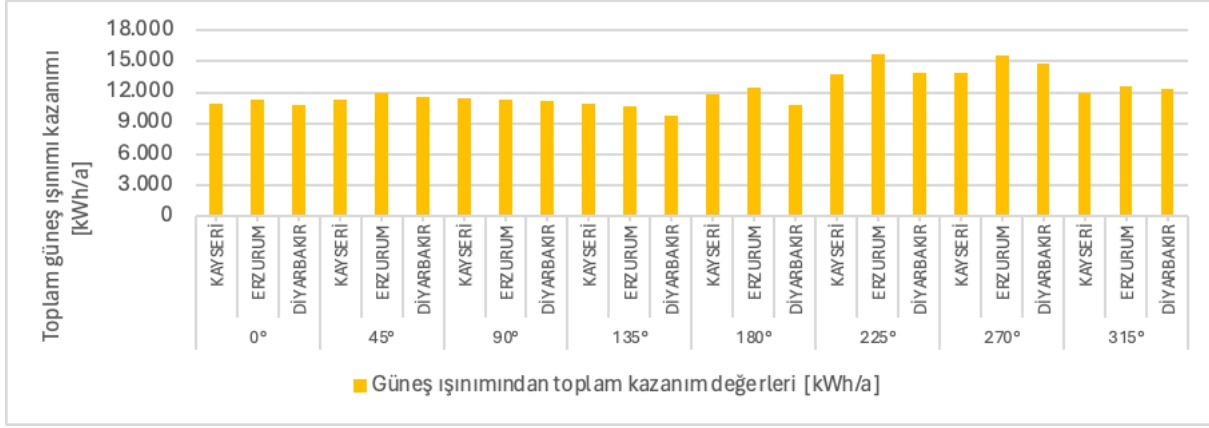
### 3.3. Binada minimum, maksimum ve ortalama sıcaklık ve nem miktarları;

Bina bazında dört ana yön ve dört ara yön olarak üç il için minimum, maksimum ve ortalama sıcaklık, nem ve ısı kazanç-kayıp değerleri ek olarak **Çizelge 3** 'de verilmiştir. En yüksek sıcaklığın Kayseri'de 23,7 °C, Erzurum'da 22,2 °C, Diyarbakır'da 25,6 °C ile 270° yönünde olduğu görülmüştür. En düşük sıcaklığın ise, Kayseri'de 15,3 °C ile 315° ile 135° arası, Erzurum'da 14,3 °C ile 90°, Diyarbakır'da 16,2 °C ile 90°, 135°, 315° yönlerinde meydana geldiği görülmüştür. İç ortam bağıl nem oranlarında üç iklim bölgesi için de yakın sonuçlar elde edilmiştir. Erzurum ilinin diğer illerden %4 oranında daha az ve en düşük iç ortam bağıl nemine sahip olduğu görülmüştür. Bina yöneliminin iç ortam bağıl nemine etkisi yok sayılacak kadar düşük olmuştur. Üç iklim bölgesinde iç ortam bağıl neminin en yüksek değerinin %75'e ulaşması ile binada bazı dönemlerde küflenme riskinin olduğunu anlaşılmaktadır.

### 3.4. Binanın güneş ışığından ısı kazanımı değerleri

Binanın güneş ışığından toplam ısı kazanım değerleri dört ana yön ve dört ara yön olarak üç il için **Şekil 7**'de verilmektedir. Araştırılan binada yıllık güneşten kazanılan ısı miktarı en yüksek değerlerine, Kayseri ve Diyarbakır ilinde bina yönelimi 270° iken, Erzurum ilinde ise 225° iken ulaşmıştır. En düşük ısı kazanç değerlerine ise bina yönelimi Kayseri ilinde 0° iken Erzurum ve Diyarbakır ilinde ise 135° iken ulaşılmıştır. Toplam güneş ışımasını kazanımında, saydamlık oranının ve saydamlık oranı yüksek olan cephenin önemli bir etken olduğu söylenebilir. Güneşten en yüksek

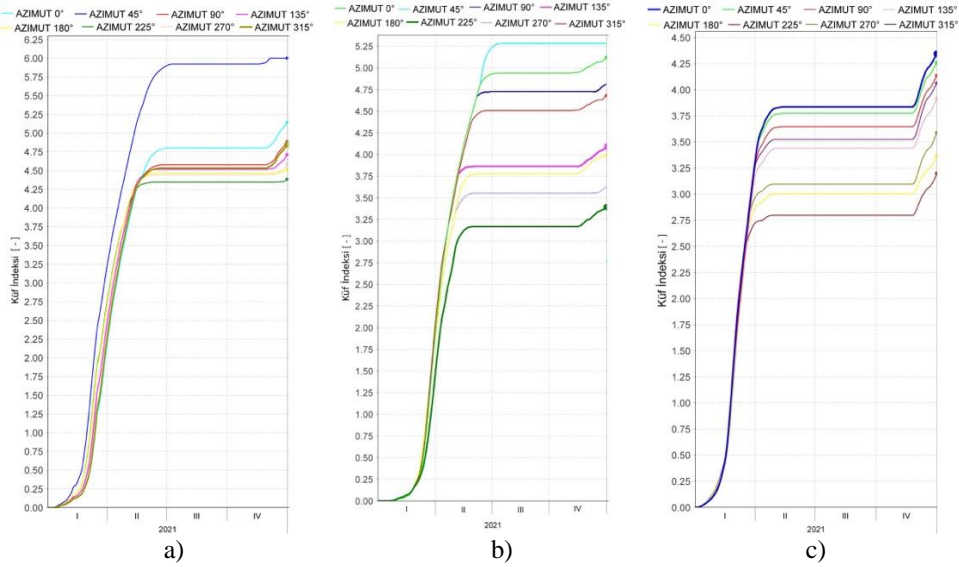
kazanım Erzurum ilinde 15637 kWh/a değerinde hesaplanmıştır. Kayseri’deki en yüksek kazanım Erzurum’dakinin yaklaşık %88’ine, Diyarbakır’daki ise %94’üne eşittir.



Şekil 7. Toplam güneş ışınımı kazancı

### 3.5. Küf oluşumu

Şekil 8’de ılıman-kuru, sıcak-kuru, soğuk iklim bölgesi ve sekiz yön için binanın ana cephesindeki duvardan Wufi Bio yazılımı ile elde edilen bir yıllık küf indeksi (mould index) grafiği verilmiştir. Kayseri ilinde sekiz yönelim durumu için küf indeksinin kabul edilebilir eşik değerinin üstünde (MI >3) olduğu görülmüştür. Küf indeksi Diyarbakır ilinde ise 180° ve 225° yönelimde kritik eşik değerinin (MI >3) altında, kalmıştır. Erzurum ilinde ise 225° yönelimi, kritik eşik değerini aşmış ancak kritik eşik değere yakın sonuç vermiştir.



Şekil 8. Wufi Bio ile elde edilen bir yıllık küf indeksi (mould index) değeri (a: Kayseri ili, b:Erzurum ili, c: Diyarbakır ili)

#### 4. SONUÇLAR

Çalışmada, ılıman kuru iklim bölgesindeki Kayseri ilinin 1.derece koruma bölgesinde bulunan, taş yığma yapı özelliğine sahip Camcıoğlu Konağı'nın farklı iklim bölgeleri (ılıman-kuru, sıcak-kuru ve soğuk iklim) için en uygun yönelimi, bina kabuğu higrotermal analizi ve binanın enerji performansı irdelenerek analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda yer almaktadır:

- Binanın saydamlık oranı arttıkça güneş ışınımından kazanım değeri artabildiği gibi ısı kayıplarında artış meydana gelebilmektedir. Isı kazanç – kayıpları açısından en elverişli yönelimin, incelenen ılıman-kuru (Kayseri ili), sıcak-kuru (Diyarbakır ili), soğuk (Erzurum ili) iklim bölgesinde batı ve güneybatı (kuzeyden saat yönünde 225°-270°) yönlerinde olduğu görülmüştür. Saydam ve opak alanlardaki ısı kaybını azaltmak için batı ve güneybatı (225°-270°) yönelimi tercih edilebilir. Doğu ve güneydoğu (90°-135°) yönelimlerinde ise ısı kaybını azaltmak için tasarım esnasında saydam/opak oranına dikkat edilmesi gerektiği anlaşılmıştır.
- Bina içindeki, minimum, maksimum ve ortalama sıcaklık ve nem miktarları üç iklim bölgesi için en yüksek değerini batı yönünde, en düşük değerini kuzey batı ve doğu yönleri arasında göstermiştir. Binanın bitişik nizamda olmasının iç ortam sıcaklığı ve bağıl neminin farklı yönelimlerde yakın sonuçlar göstermesinde etkisi olabilir.
- Tüm iklim bölgelerinde binanın toplam ısıtma yükü için en az enerji gereksinimi batı ve güneybatı (225°- 270°) yönünde olmuştur. Soğutma yükü ise en fazla batı ve güneybatı yöneliminde hesaplanmıştır. Öte yandan, toplam soğutma yükü üç iklim bölgesinde de ısıtma yüküne kıyasla daha düşük olduğundan ısıtma ve soğutma yükü için en elverişli bina yöneliminin batı ve güneybatı olduğu söylenebilir. Isıtma ve soğutma yükünde kabuğun saydam/opak oranının ve bu oranın farklı yönelimlerde değişiklik göstermesinin etkisi görülmüştür. Soğutma yükünün görüldüğü sıcak iklimde bina tasarlanırken, saydam/opak oranının ısıtma ve soğutma yükü için artı ve eksileri göz önünde bulundurulmalıdır. Kuzey ve doğu yönleri arasındaki yönelimlerde güneş ışınımından daha fazla yararlanmak için çözümler üretilmelidir.
- Güneş ışığından ısı kazanımı değerleri için en elverişli yön batı ve güneybatı (225°-270°) olmuştur. Kuzey ve doğu yönlerinin arasındaki yönelimlerde güneş ışınımından daha fazla yararlanmak için binanın batı ve güneybatı yönlerindeki cephelerinde saydam/opak oranını artıran çözümler üretilmelidir.
- Sıcak-kuru iklimde küf indeks değerini kabul edilebilir seviyede tutmak için 225° yöneliminin tercih edilmesi gerekmektedir. Ilıman-kuru ve soğuk iklim bölgesinde bina, diğer sekiz yöne göre daha düşük küf endeksine sahip 225° yönünde planlanmalı ve emprenye, kapiler aktif yalıtım malzemeleri, buhar bariyerleri ya da akıllı buhar geciktiriciler gibi alternatif malzemeler değerlendirilerek iyileştirme önerileri geliştirilmelidir.

Sonuç olarak, binaların enerji performansına etki edecek birçok tasarım parametresi mevcuttur. Özellikle tarihi öneme ve taş yığma sisteme sahip binalarda kabuğun dış görünümünü bozmadan higrotermal performansını geliştiren ve böylelikle binanın toplam enerji tüketimini minimize eden iyileştirmelerin, bu çalışmayla ortaya konmuş “iklim bölgesine göre optimum bina yönelimleri” dikkate alınarak ele alınması önerilebilir. Bu çalışmanın aynı zamanda, yeni yapılacak binaların tasarımlarına da katkıda bulunacağı ve böylece sürdürülebilir ve enerji etkin binalar için yeni stratejilere uyum sağlamada yardımcı olacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

1. "European Commission, Directive", 2010.
2. O. V. , Olgay. A., Solar and Shading Devices Control. Princeton: Princeton University Press., 1957.
3. M. Hamdani, S. M. A. Bekkouche, M. K. Cherier, N. Benamrane, ve T. Benouaz, "Orientation of Buildings: Predictive Control Based on the Calculation of Temperature and Solar Direct Contribution", International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy, c. 55, ss. 96-103, Tem. 2015, doi: 10.18052/www.scipress.com/ilcpa.55.96.
4. S. J. Jalal ve R. K. Bani, "Orientation modeling of high-rise buildings for optimizing exposure/transfer of insolation, case study of Sulaimani, Iraq", Energy for Sustainable Development, c. 41, ss. 157-164, Ara. 2017, doi: 10.1016/j.esd.2017.09.003.
5. R. Elghamry, N. Y. Azmy, R. E. Ashmawy, ve N. Y. Azmyb, "Buildings orientation and it's impact on the energy consumption Buildings orientation and it's impact on the electricity consumption", 2017. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.researchgate.net/publication/327623184>
6. M. Hamdan Ahmad, D. Remaz Ossen, ve C. Sok Ling, "Article in Journal of Construction in Developing Countries", 2007. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.researchgate.net/publication/43245365>
7. Q. Sabah Haseeb, S. Muhammed Yunus, A. Attallah Ali Shoshan, ve A. Ibrahim Aziz, "A study of the optimal form and orientation for more energy efficiency to mass model multi-storey buildings of Kirkuk city, Iraq", Alexandria Engineering Journal, c. 71, ss. 731-741, May. 2023, doi: 10.1016/j.aej.2023.03.020.
8. J. Dai, J. Wang, D. Bart, ve W. Gao, "The impact of building enclosure type and building orientation on indoor thermal comfort -A case study of Kashgar in China", Case Studies in Thermal Engineering, c. 49, Eyl. 2023, doi: 10.1016/j.csite.2023.103291.
9. Z. Zheng, J. Xiao, Y. Yang, F. Xu, J. Zhou, ve H. Liu, "Optimization of exterior wall insulation in office buildings based on wall orientation: Economic, energy and carbon saving potential in China", Energy, c. 290, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.energy.2024.130300.
10. M. Karimimoshaver ve M. S. Shahrak, "The effect of height and orientation of buildings on thermal comfort", Sustain Cities Soc, c. 79, Nis. 2022, doi: 10.1016/j.scs.2022.103720.
11. S. Kim, P. A. Zadeh, S. Staub-French, T. Froese, ve B. T. Cavka, "Assessment of the Impact of Window Size, Position and Orientation on Building Energy Load Using BIM", içinde Procedia Engineering, Elsevier Ltd, 2016, ss. 1424-1431. doi: 10.1016/j.proeng.2016.04.179.
12. F. Chi, Y. Wang, R. Wang, G. Li, ve C. Peng, "An investigation of optimal window-to-wall ratio based on changes in building orientations for traditional dwellings", Solar Energy, c. 195, ss. 64-81, Oca. 2020, doi: 10.1016/j.solener.2019.11.033.
13. A. Albatayneh, D. Alterman, A. Page, ve B. Moghtaderi, "The significance of the orientation on the overall buildings thermal performance-case study in Australia", içinde Energy Procedia, Elsevier Ltd, 2018, ss. 372-377. doi: 10.1016/j.egypro.2018.09.159.
14. M. Mahmoud, B. A. A. Yousef, A. Radwan, A. Alkhalidi, M. A. Abdelkareem, ve A. G. Olabi, "Thermal assessment of lightweight building walls integrated with phase change material under various orientations", Journal of Building Engineering, c. 85, May. 2024, doi: 10.1016/j.job.2024.108614.
15. A. Martín-Garín, J. A. Millán-García, J. Terés-Zubiaga, X. Oregi, I. Rodríguez-Vidal, ve A. Baïri, "Improving energy performance of historic buildings through hygrothermal assessment of the envelope", Buildings, c. 11, sy 9, Eyl. 2021, doi: 10.3390/buildings11090410.
16. H. Javed, A. Brambilla, ve M. Strang, "An Australian climate-based characterization of hygrothermal risks for buildings", Energy Build, c. 265, Haz. 2022, doi: 10.1016/j.enbuild.2022.112086.
17. A. N. Karagiozis, "Moisture Analysis and Condensation Control in Building Envelopes", içinde Advanced Numerical Models for Hygrothermal Research, ASTM International, 2001.



**EK**

**Çizelge 3. Minimum maksimum ve ortalama sıcaklık, nem ve ısı kazanç-kayıp değerleri**

Yön	KAYSERİ										ERZURUM									DİYARBAKIR										
	İç Ortam Sıcaklık			İç Ortam Bağıl Nem			Isı Kazanç Kayıpları				İç Ortam Sıcaklık			İç Ortam Bağıl Nem			Isı Kazanç Kayıpları			İç Ortam Sıcaklık			İç Ortam Bağıl Nem			Isı Kazanç Kayıpları				
	min.	maks	ort.	min.	maks	ort.	Saydam Alan		Opak Alan		min.	maks	ort.	min.	maks	ort.	Saydam Alan		Opak Alan		min.	maks	ort.	min.	maks	ort.	Saydam Alan		Opak Alan	
							Isı Kazancı	Isı Kaybı	Isı Kazancı	Isı Kaybı							Isı Kazancı	Isı Kaybı	Isı Kazancı	Isı Kaybı							Isı Kazancı	Isı Kaybı	Isı Kazancı	Isı Kaybı
	[ °C ]			[ % ]			[ kWh ]				[ °C ]			[ % ]			[ kWh ]			[ °C ]			[ % ]			[ kWh ]				
0°	15,3	23,1	20,5	50	75,8	58,2	11301	14748	1444	31632	14,7	21,7	20,1	48,8	75,7	54,6	11385	21655	74	49414	16,3	24,9	21	50	75,7	57,9	12285	12319	5725	26670
45°	15,3	23,4	20,5	50	75,8	58,4	11758	14769	1587	31736	14,5	21,8	20,1	46,7	75,7	54,1	11958	21655	155	49378	16,3	25,1	21	50	75,7	57,8	13073	12283	6009	26541
90°	15,3	23,5	20,6	50	75,8	58,4	11751	14790	1622	32074	14,3	21,6	20	46,7	75,7	54,1	11308	21644	197	50052	16,2	25,2	21	50	75,7	57,8	12644	12276	6027	26965
135°	15,3	23,1	20,5	50	75,8	58,2	11301	14748	1444	31632	14,4	21,7	20,1	47,5	75,7	54,5	10651	21678	68	50548	16,2	24,8	21	50	75,6	58	11263	12243	5541	27209
180°	15,4	22,9	20,5	50	75,9	58,3	12226	14785	1333	31603	14,7	21,4	20,1	48,2	75,7	54,4	12550	21726	61	49657	16,3	24,7	21	50	75,7	58,2	12283	12269	5342	26642
225°	15,4	23,4	20,6	50	75,9	58,2	14192	14838	1706	31022	14,7	22	20,1	46,3	75,7	53,9	15689	21762	211	48164	16,3	25,1	21,1	50	75,9	58,4	15398	12323	6123	25954
270°	15,4	23,7	20,6	50	75,9	58,1	14274	14856	1893	31092	14,6	22,2	20,1	47	75,7	54	15564	21744	302	48147	16,3	25,6	21,1	50	75,9	58,4	16257	12363	6552	26181
315°	15,3	23,5	20,6	50	75,8	58,1	12370	14801	1664	31475	14,5	22	20,1	46,7	75,7	54,1	12678	21687	135	49008	16,2	25,3	21,1	50	75,9	58,4	13801	12325	6189	26667

# **LİSANSÜSTÜ EĞİTİMDE ENERJİ KORUNUMU ÇALIŞMALARINA BİR ÖRNEK: GELENEKSEL CUMALIKIZIK EVLERİ**

Gülten Manioğlu<sup>1</sup>

Eda Köse Murathan<sup>2</sup>

Elif Ranaer Harputluoğlu<sup>3</sup>

Halime Firdevs Taşkın<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> İTÜ Mimarlık Fakültesi, Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

<sup>3</sup>BTÜ Mimarlık Fakültesi, Yıldırım, Bursa, 16320

## **ÖZET**

*Yapma çevrenin enerji etkin tasarlanması, pasif tasarım stratejilerinin planlamaya entegre edilerek, kullanıcı konforunu sağlama amacıyla binanın bulunduğu iklim koşullarına uyumlu olacak şekilde kurgulanmasını gerektirmektedir. Böylece yapma çevrenin tasarım ve uygulama aşamasında alınan önlemlerle enerjinin korunumunu sağlamak olanaklı olabilecektir. CKY 506 Yapma Çevrede Enerji Korunumu dersinde lisansüstü düzeyde, tasarım ve sonrası aşamalarda yapma çevrelerin enerji korunumu açısından değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda 2023-24 Güz yarıyılında bu dersin içeriği; geleneksel yaşam biçiminin ve kültürümüzün bir parçası olan geleneksel binaları yerinde incelemek, sorunlarını tespit etmek, ders kapsamında öğretilen enerji etkin tasarım stratejilerinden yararlanarak enerji korunumu açısından değerlendirmek olarak belirlenmiştir. Bu doğrultuda; "Cumalıkızık Geleneksel Evlerinin Enerji Performansı Açısından Değerlendirilmesi" isimli Eğitim Çalıştayı düzenlenmiştir. Dersin çıktıları doğrultusunda elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.*

*Anahtar sözcükler: Yapma çevre, Enerji korunumu, Geleneksel ev, Cumalıkızık, Enerji tüketimleri*

## **ABSTRACT**

*Energy efficient design of the built environment requires integrating passive design strategies into the planning and designing the building to be compatible with the climatic conditions in which it is located in order to ensure user comfort. Thus, it may be possible to ensure energy conservation through measures taken during the design and implementation stages of the built environment. The aim of the CKY 506 Energy Conservation in the Built Environment course at the graduate level is to evaluate the built environments in terms of energy conservation in both design and post-design stages. For this purpose, the content of this course in the Fall semester of 2023-24 has been determined as follows: to examine traditional buildings, which are part of our traditional way of life and culture, on-site, identify their problems, and evaluate them in terms of energy conservation using the energy-efficient design strategies taught in the course. In this context, an "Education Workshop on the Evaluation of Cumalıkızık Traditional Houses in Terms of Energy Performance" has been organized. The results obtained in line with the course outcomes have been evaluated comparatively.*

*Keywords: Built environment, Energy conservation, Traditional house, Cumalıkızık, Energy consumption*

<sup>1</sup> e-posta adresi: manioglugu@itu.edu.tr

<sup>2</sup> e-posta adresi: koseed17@itu.edu.tr

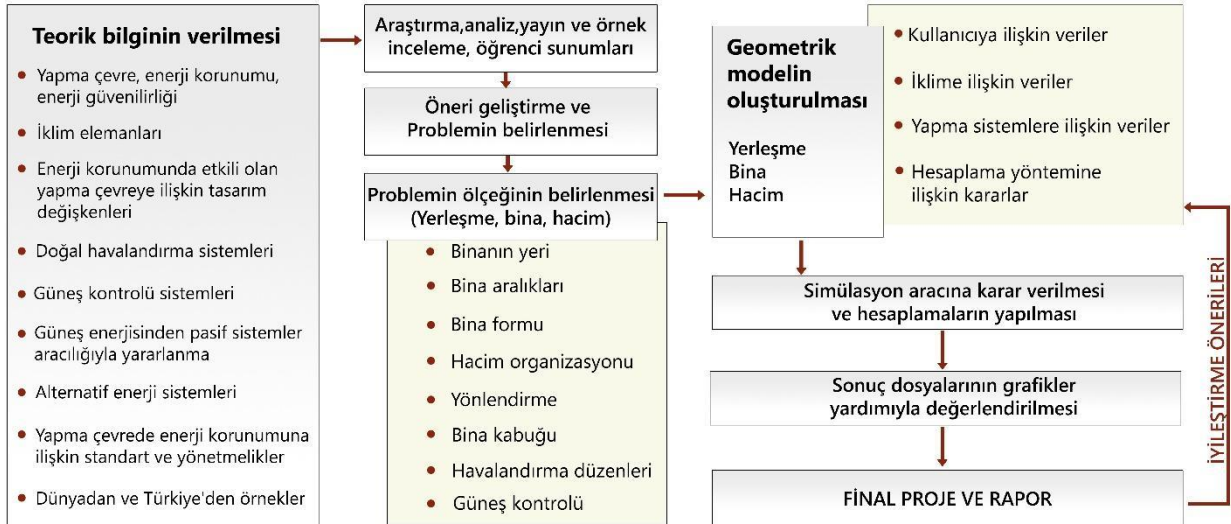
<sup>3</sup> e-posta adresi: ranaer@itu.edu.tr

<sup>4</sup> e-posta adresi: taskinha@itu.edu.tr

# 1.GİRİŞ

Teknolojik ilerlemenin beraberinde getirdiği yeni yaşam biçimini sürdürülebilir kılmak ve enerji güvenliğini sağlayabilmek için, ülkeler enerji üretim paylarını artırmak, bir başka deyişle enerjiyi etkin kullanmak amacıyla alternatif enerji kaynaklarına yönelmektedirler. Bu yönelim; mimarlık disiplininde de kendine yer bulmakta ve enerjinin yoğun olarak tüketildiği alanlardan biri olan binalarda öne çıkmaktadır. Yapma çevrenin enerji etkin tasarlanması, pasif tasarım stratejilerinin planlamaya entegre edilerek, ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma konularında binanın tüm yaşamı boyunca bulunduğu iklim koşullarına uyum sağlayarak kendi gereksinimlerini karşılayacak ve kullanıcı konforunu sağlayacak şekilde kurgulanmasını gerektirmektedir. Böylece yapma çevrenin tasarım ve uygulama aşamasında alınan önlemlerle enerjinin korunumunu sağlamak olanaklı olabilecektir.

İTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Yüksek Lisans Programı kapsamında verilen CKY 506 Yapma Çevrede Enerji Korunumu dersi; Enerji Korunumu, yapma çevrenin optimal pasif ısıtma-iklimlendirme sistemini etkileyen tasarım parametrelerini ve binalarda enerji korunumlu iyileştirme konularını kapsamaktadır. Ders kapsamında; enerji kaynaklarının rasyonel kullanımı, enerji güvenilirliği, enerji etkin tasarım değişkenleri ve birbirleri ile ilişkileri, enerji korunumunda geleneksel ve çağdaş yöntemler ve alternatif enerji kaynakları ele alınmaktadır. Öğrenciler yapma çevrenin ısı performansını hem yeni bir binada hem de mevcut binaların iyileştirilmesi ve enerji etkin hale dönüştürülmesi amacıyla değerlendirebilmektedirler. Dersin işleyişine ait akış şeması Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1: Enerji korunumlu bir yapma çevre tasarımı akış şeması

Ders kapsamında yapılan çalışmalar yeni bir binada ve farklı ölçeklerde yapılabileceği gibi mevcut bir örneğin değerlendirilmesi şeklinde de ele alınabilir. 2023-24 Güz yarıyılında Yapma Çevrede Enerji Korunumu dersinin içeriği; “mevcut” binaları yerinde görmek, bu binaları enerji korunumu açısından değerlendirmek, sorunları tespit etmek ve ders kapsamında öğretilen enerji etkin tasarım stratejilerinden yararlanarak belirlenen sorunlar için çözümler geliştirmek açısından öğrencilerin eğitimine katkı sağlayacağı düşünülmüşür.

Mevcut binalar, şehirlerde üretilen çağdaş mimarlık örnekleri olabileceği gibi, çok daha eskiye dayanan ve Anadolu'nun pek çok şehrinde örnekleri bulunan ve hala kullanılabilen geleneksel mimarlık örnekleri olarak da kabul edilmektedir. Geleneksel mimarinin özgünlüğünü belirleyen en önemli unsur, bulunduğu coğrafya ve iklim bölgesine bağlı olarak kullanılan planlama stratejileri, yerel yapı malzemeleri ve yapım teknikleridir. Geleneksel mimari bu özellikleriyle birlikte mevcut haliyle korunabildiğinde özgün değerini de koruyabilecektir. Ancak tarımsal üretimin azalması ile geçim yöntemlerinin değişmesi ve buna bağlı olarak toplumsal değişimler de söz konusu olduğundan son yıllarda geleneksel mimarinin ve yerleşmelerin büyük bir tehdit altında olduğu da bilinmektedir. Bu nedenle geleneksel yaşam biçiminin ve kültür mirasının korunması ve bu koruma örneklerinden dersler alınarak mevcut mimari tasarım ve planlama stratejilerine entegre edilmesi bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu nedenle bu ders kapsamında, 2014 yılında UNESCO Dünya Miras Listesine kaydedilen, Uludağ'ın Kuzey-Batı eteklerinde yer alan ve Bursa ile aynı dönemde Osmanlı vakıf köyü olarak kurulan Cumalıkızık köyü incelenmiş ve enerji performansı değerlendirmesi yapmak üzere seçilmiştir.

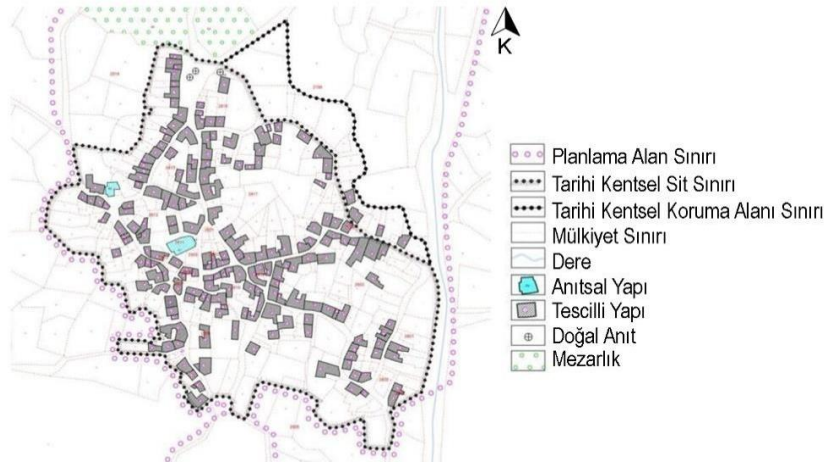
Bursa'nın tarihi ve kültürel mirası içinde önemli bir yere sahip olan Cumalıkızık ile ilgili daha önceki yapılan çalışmalar incelendiğinde; Cumalıkızık'ın tarihi dokusunun korunması, yapım teknikleri ve malzeme kullanımı mimari tarz ve özelliklerinin belirlenmesi gibi başlıklar öne çıkmaktadır. Kızıkuşak ve Güçhan (2021) çalışmasında, Cumalıkızık'ın tarihsel gelişimine odaklanılmış olup yerleşmenin Osmanlı kırsal yerleşim özelliklerine sahip olduğunu ve erken ve geç dönem Osmanlı izlerine rastlandığını aktarmışlardır [1]. Kızıkuşak (2019) bir başka çalışmasında, yapı ve kullanıcı ölçeğinde değişimler olduğunu vurgulamıştır. Geleneksel mimarisindeki bina detaylarının ve mimari elemanların neredeyse sadece terkedilmiş binalarda görülebildiğini de eklemiştir [2]. Sevgen Perker (2012) ve Bozkurt (2019) çalışmalarında Cumalıkızık Köyü'nün, geleneksel yaşam tarzı, doğal güzellikleri, tarihi yapıları ve özgün mimarisiyle kültürel bir miras olarak öne çıktığını ancak, zaman içerisinde sosyal yaşantıda oluşan değişimlerin ve fiziksel deformasyonların sonucunda önemli değişim ve bozulmalara maruz kaldığını vurgulamışlardır. Bu durumun bir getirisi olarak, konutların bir kısmının yıkılmış olması ve kalanların turizm ve ticari amaçlı kullanılmasının da köyün özgün niteliklerinin bozulmasına sebep olduğunu ifade etmişlerdir [3,4]. Cumalıkızık geleneksel evlerinin korunarak yerel kullanıcısının yaşam koşullarının iyileştirilmesini amaçlayan çeşitli çalışmalar da yapılmıştır. Yılmaz (1999) yaptığı incelemeler sonucu Cumalıkızık'ın geçmişten beri yaşadığı değişimleri belirlemiş, bu değişimlerin neden olduğu sorunların azaltılması amacıyla tarihi yerleşme için bir koruma ve örgütlenme modeli önermiştir [5]. Bir diğer çalışmada, Cumalıkızık konutlarının malzeme özellikleri, yapım sistemi, bağlantı detayları ve bozulmalar örnek yapılar üzerinde incelenmiş ve çeşitli müdahale yöntemleri belirlenmiştir [6]. Bu müdahale yöntemleri arasında mevcut bozulmalara ek olarak yangın gibi olası felaketlere karşı önlemlerin de eklendiği görülmektedir [7]. Bu çalışmaların dışında, Cumalıkızık geleneksel evlerinin enerji performans değerlendirmelerine ilişkin herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Ancak geleneksel mimari ile tasarlanmış yapıların enerji etkinliğinin değerlendirildiği birçok araştırma mevcuttur. Özdemir ve Bektaş Ekinci'nin (2020) Elazığ'da bulunan Harput Şefik Gül Evi'ne ilişkin çalışmasında konutun enerji performansı değerlendirilmiş olup, elde edilen sonuçlara göre; konutta gerçekleşen enerji tüketiminin günümüz binalarında sağlanması gereken ve IEA (International Energy Agency) tarafından önerilen tüketim miktarının altında kaldığı sonucuna varılmıştır [8]. Ulukavak Harputlugil ve Çetintürk (2005) Safranbolu'daki Hacı Hüseyinler Evi için, Közoğlu vd. (2022) Konya'daki Geleneksel Sille Evleri için, Tüfekçi Topkaya (2022) Antalya'daki İbradı, Ormana Düğmeli Evleri için enerji performansının değerlendirilmesine ilişkin çalışmalar yürütmüşlerdir [9,

10,11]. Çalışmaların sonuçları incelendiğinde, geleneksel evlerin enerji etkinliği gözetilerek tasarlanması ile geleneksel mimarideki tasarım stratejilerinin modern tasarımlara rehberlik edebileceğini göstermiştir. Geleneksel mimaride enerji performansı bakımından ele alınan ülke dışı deneyimler incelendiğinde, Dervishi vd. (2022), 16. ve 19. yüzyıllar arasında Arnavutluk'ta inşa edilen bir geleneksel konut binasının ısı performansını simülasyona dayalı bir hesaplama aracı olan DesignBuilder simülasyon aracı ile incelemiştir [12]. Elde edilen veriler doğrultusunda geleneksel konutların özgün dokusunu koruyarak iyileştirme önerisinde bulunmuştur.

## 2. CUMALIKIZIK KÖYÜ'NÜN TARİHSEL GELİŞİMİ VE GELENEKSEL MİMARİSİ

Cumalıkızık, 1980 yılında Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulu tarafından Doğal ve Kentsel Sit Alanı statüsü ile yasal koruma altına alınmış ve 2000 yılında köyün UNESCO Dünya Miras Geçici Listesine girmesi ile birlikte bölgede çeşitli koruma çalışmaları yürütülmeye başlanmıştır. [13]. Bursa ve Cumalıkızık köyü, 2014 yılında 'Osmanlı İmparatorluğu'nun Doğuşu' başlığı altında tescillenerek UNESCO Dünya mirası listesine girmiştir. Bursa ile birlikte Cumalıkızık köyünün listeye dahil edilme nedeni; 700 yıl önce Oğuz boyları tarafından kurulması ve 300 yıllık sivil toplum mimarisi ile bozulmamış bir yerleşim örneği niteliği taşımasıdır. Bursa'da tescillenen 6 miras ögesinden biri olan köy örnek bir vakıf köyü niteliği taşımakta ve bu özelliği ile Bursa kent merkezindeki han ve külliyele ekonomik katkısı bulunmaktadır [14]. 1980 yılında başlatılan koruma çalışmalarına, 2007 yılından beri yerel belediyenin yürüttüğü restorasyon çalışmaları ile birlikte günümüzde de devam edilmektedir [13].

Cumalıkızık Köyü; 40° 10' 37.22" kuzey enleminde, 29° 10' 16.05" doğu boylamında konumlanmış olup Bursa'nın 12 km doğusunda ve Uludağ'ın kuzey yamacında yer alan 7 kızık köyünden biridir. Uludağ'ın kuzey eteklerinde deniz seviyesinden 339 metre yükseklikte bulunan köy, 115 hektarlık alana kuruludur. İklima ilişkin özelliklerine bakıldığında; Bursa ili genel olarak ılımlı-nemli iklim tipi özelliklerini göstermekle birlikte Cumalıkızık köyünde konumu itibarıyla kış mevsimi sert ve yağışlı, yaz mevsimi ise sıcak ve aynı zamanda yağışlıdır [15]. İlkbahar mevsimi hariç köyde hâkim rüzgâr poyrazdır. İlkbaharda ise Lodos etkisini göstermektedir. Cumalıkızık köyü kuzey yamacına yerleşmiş alt ve üst kotları arasında yaklaşık 50 m kot farkı bulunan bir yerleşmedir. Şekil 2'de köyün sınırları, tescilli yapıları, topoğrafik yapısına uygun olarak yerleşim düzeni ve sokakları vaziyet planı üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2: Cumalıkızık Köyü vaziyet planı [16]

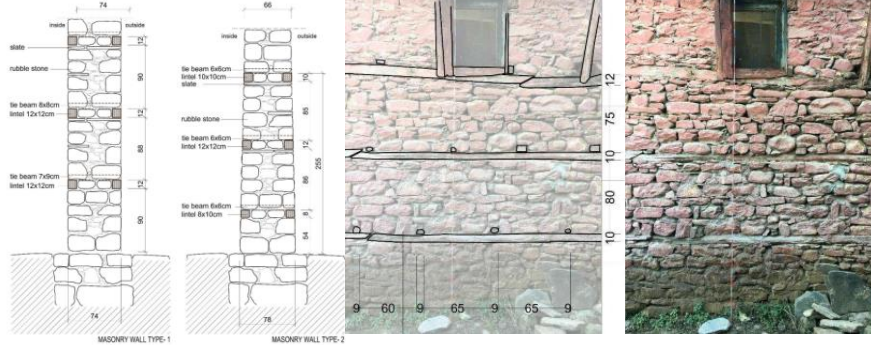
Cumalıkızık Köyü evleri incelendiğinde, toplam 270 özgün ev bulunmakta olup günümüzde bunlardan 180 tanesi sivil mimari örneği olarak tescillenmiştir [17]. İki veya üç katlı geleneksel Cumalıkızık evlerinde; evlerin hacim organizasyonu ve boyutları, arazi eğimi ve konumuna göre değişmekle birlikte temel hacim organizasyonları Şekil 3'te şematik olarak gösterilen iki farklı plan şemasına dayanmaktadır. Bu plan şemalarının ilkinde; yüksek taş duvarların çevrelediği taşlıktan eve giriş yapılmaktadır. Zemin katta günlük yaşamın geçtiği bir mekân olan taşlık/hayat kısmı ile ahır, depo gibi hacimler yer almaktadır. Üst katta yer alan sofa ve yaşama mekanlarına taşlıkta yer alan merdiven ile ulaşılmaktadır. İkinci plan şemasında ise; eve giriş avludan olup, avluda yer alan merdivenden çıkılarak yaşama mekanlarına ulaşılmaktadır. Zemin katta mutfak, ahır, depo, wc gibi mekanlar bulunmaktadır. Her iki plan şemasında da evlerin kat yüksekliği az olan birinci katı, kışlık bölümdür. Bu katta; yatak odaları, oturma odaları, banyo ve ocak yer almaktadır. Yazlık bölüm olan ikinci katta ise sofa etrafında sıralanmış baş oda, diğer odalar ve eyvan bulunmaktadır. Bu katın kat yüksekliği, birinci kata göre daha fazladır [13, 2].



Şekil 3: Cumalıkızık geleneksel evlerine ait plan şemaları.

## 2.1. Cumalıkızık geleneksel evlerinin yapısal özellikleri

Uludağ'ın %40 eğime sahip kuzey yamacına yerleşmiş olan Cumalıkızık Köyü geleneksel evleri yapı ve yapım teknikleri bakımından incelendiğinde, taşıyıcı sistem olarak giriş katlarda yığma taş (Şekil 4) üst katlarda ise ahşap iskelet sistemi (bağdadi tekniği) görülmektedir [2, 18]. Moloz taş, ahşap (kestane ağacı) ve dolgu malzemesi olarak kerpiç, yapı malzemesi olarak en fazla kullanılan malzemelerdir. Zemin ve birinci katlar ile avlular, sokak döşemesine uygun moloz taş ve ahşap hatıllı duvarlarla çevrilidir [6]. Dış avlu ve doğrudan sokaktan girilen taşlık, üst katı taşıyan sağlam ahşap direklerle çevrilidir. Avlunun zemini yassı ve geniş taşlarla döşelidir. Ara kat döşemesi, ahşap taşıyıcılı hımış dolgu malzemeden oluşmaktadır. Üst katlardaki cumbalar döşeme kirişlerinin dışa doğru yaklaşık 50 cm uzatılması ile oluşturulmuş olup payandalar ile desteklenmiştir [19]. Evlerin cepheleri sıva üzeri boyalı olup cephelerde ağırlıklı olarak çivit mavi, sarı, yeşil ve kırmızı renkler kullanılmıştır. Dar sokaklar nedeniyle; pencereler üst katlarda mahremiyeti sağlamak için kafesli veya cumbalıdır [14]. Pencerelerin boyutları yaklaşık olarak 70-90 cm genişliğinde, 130-150 cm yüksekliğindedir [19]. Evlerin ana giriş kapıları çift kanatlı olup, ceviz ağacından yapılmıştır. Çatıları ise dört veya iki yöne meyilli kırma çatılıdır. Çatının üzeri alaturka kiremitlerle kaplıdır [13].



**Şekil 4:** Zemin kat dış duvar sistemi örneği [2].

730 kişinin yaşadığı köyde en büyük gelir kaynağının turizm olması yerleşmenin ve özgün binaların korunması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu gereksinim nedeniyle bölgede yerleşme ve konut ölçeğinde yapılacak olan performans değerlendirmesi çalışmaları Cumalıkızık yerleşmesi ve geleneksel evlerinin sürekliliğinin devam etmesi açısından bölgenin gelişimine de katkı sağlayacaktır. Bu nedenle 2023-2024 Güz yarıyılında Yapma Çevrede Enerji Korunumu dersi kapsamında Cumalıkızık köyünde enerji performansı değerlendirmesi yapmak üzere bir eğitim çalıştayı düzenlenmiştir. Çalıştay öncesinde dersin öğrencileri (14 öğrenci) tarafından Geleneksel evler, Cumalıkızık evleri, Geleneksel Bursa Evleri ve ulusal ve uluslararası Geleneksel ev çalışmaları ile ilgili ön araştırmalar ve tespitler yapılmıştır. Çalıştay kapsamında öğrencilerden ikişer kişilik gruplar oluşturulmuş ve her grubun çalışması için; Bursa Yıldırım Belediyesi tarafından hazırlanmış restorasyon projelerinden elde edilen Cumalıkızık geleneksel ev ve vaziyet planlarından yararlanılarak farklı konum ve yönlendiriliş durumuna sahip 7 adet örnek ev planı seçilmiştir. Ön hazırlık aşamasının tamamlanmasının ardından; yerinde tespit çalışmalarının yapılabilmesi için Cumalıkızık köyünde 13-14 Kasım 2023 tarihinde “Cumalıkızık Geleneksel Evlerinin Enerji Performansı Açısından Değerlendirilmesi” isimli **Eğitim Çalıştayı** gerçekleştirilmiştir. Dersin içeriği, amaçları ve ders çıktıları doğrultusunda düzenlenen çalıştaya ait adımlar aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

### **3. YAPMA ÇEVREDE ENERJİ KORUNUMU DERSİ KAPSAMINDA GELENEKSEL CUMALIKIZIK EVLERİNİN ENERJİ PERFORMANSININ DEĞERLENDİRMESİ**

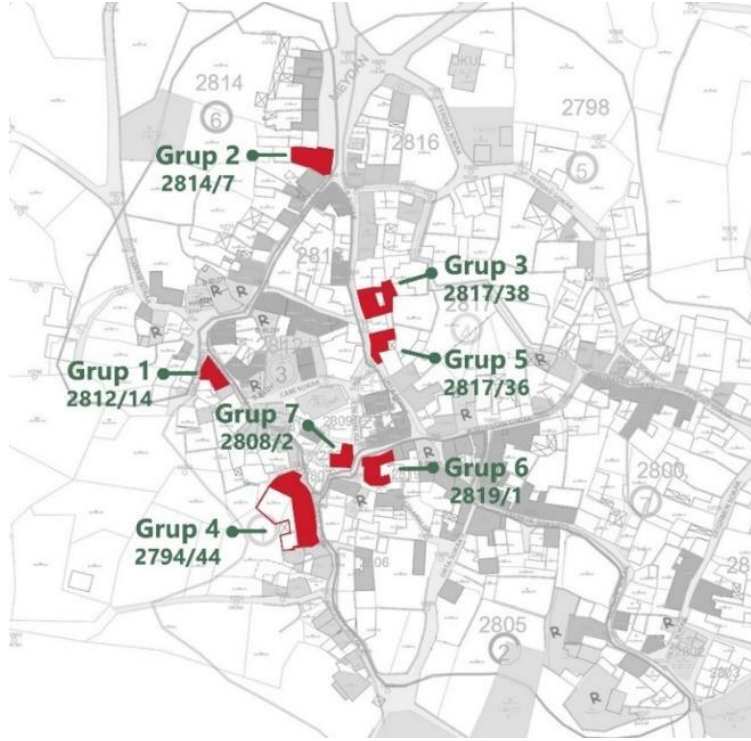
2023-2024 Güz yarıyılı Yapma Çevrede Enerji Korunumu dersi kapsamında gerçekleştirilen Cumalıkızık Çalıştayında mevcut geleneksel evlerin enerji performansının değerlendirilmesi konusu ele alınmıştır. Geleneksel evlerdeki yaşamın devam edebilmesi için kullanıcının ısı konfor koşullarının da sağlanmasının bir gereklilik olduğu bilinmektedir. Çalıştay kapsamında yapılan enerji performansı değerlendirmesi dersin amacıyla da örtüşecek şekilde;

- Cumalıkızık'taki yoğun yerleşmede mevcut geleneksel evlerin enerji performansının farklı ölçütlerle belirlenmesini,
- Geleneksel evlerin mevcut koşullarının iyileştirilmesi için enerji etkin tasarım değişkenlerine ait değerlerin parametrik olarak iyileştirilmesi ve analiz edilmesini ve bu değişkenlerin birbirleriyle olan ilişkilerini değerlendirebilmeyi,

- Farklı enerji etkin tasarım parametrelerinin geleneksel örneklere entegrasyonunun etkilerinin değerlendirilmesini ve
- Enerji korunumlu yeni yapma çevre önerileri geliştirilmesini amaçlamaktadır.

### 3.1 Cumalıkızık köyü ve evlerine ilişkin değişkenlerin belirlenmesi

Çalıştay kapsamında her bir grup için; yerleşmede farklı konumlarda bulunan ve farklı yönlendiriliş durumuna sahip geleneksel ev örnekleri seçilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5: Çalışma kapsamında seçilen geleneksel Cumalıkızık evleri

Her grup seçtiği evi yerinde inceleyerek, komşu binalar, hacim organizasyonu, yönlendirme ve cephenin opak ve saydam bileşenlerine ait özellikleri bakımından yerinde incelemiştir. Cumalıkızık evlerinde bina kabuğunun opak bileşenine ait detaylar projelerden elde edilen veriler ve tespit çalışmaları sonrasında tüm gruplar için ortak olarak belirlenmiştir. Opak bileşen, evlerin zemin katlarında ahşap hatıllı taş duvarlardan oluşmaktadır. Üst katlarda ise ahşap taşıyıcılar arası kerpiç dolgu malzemesi ile doldurulmuş şekilde inşa edilmiştir (Şekil 4). Çatıların tamamı, kırma veya beşik çatı şeklindedir. Buna göre; geleneksel evlerde normal kat bina kabuğu için toplam ısı geçirme katsayısı değeri sırasıyla; dış duvar için  $U_{duvar}=1.34 \text{ W/m}^2\text{K}$ , çatı için  $U_{çatı}=1.48 \text{ W/m}^2\text{K}$ , zemine oturan döşeme için  $U_{döşeme}= 1.10 \text{ W/m}^2\text{K}$  ve pencereleri tek cam olup  $U_{pencere}=5.80 \text{ W/m}^2\text{K}$  olarak hesaplanmıştır. Daha sonra mevcut halleriyle enerji performansları belirlenen Geleneksel Cumalıkızık evleri için iyileştirme senaryoları geliştirilmiştir. Geliştirilen iyileştirme senaryolarında, TS 825 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardına göre ılımlı-nemli iklim bölgesinin iklimsel özelliklerini taşıyan Bursa (2.bölge) ilinde bina kabuğunda sağlaması gereken maksimum toplam ısı geçirme katsayısı değerleri dikkate alınmıştır [20]. Bu değerler; dış duvar, çatı, zemine oturan döşeme ve pencere için sırasıyla; 0.57, 0.38, 0.57 ve 1.8  $\text{W/m}^2\text{K}$  şeklindedir.



### 3.2 Hesaplamalara ilişkin değişkenlerin belirlenmesi

Enerji harcamalarının azaltılması ve kullanıcı konfor koşullarının iyileştirilmesi amacıyla yapılan bu çalışmada, seçilen 7 Geleneksel Cumalıkızık evinin 24 saat boyunca kullanıldığı varsayılmıştır. Binanın ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimlerinin hesaplanabilmesi için her bir hacim bir ısıl zon olarak kabul edilmiştir. Çalışma simülasyona dayalı bir değerlendirme çalışması olup, tüm gruplarda Design Builder simülasyon aracı kullanılmıştır. Bina kabuğunun ısıl performansını detaylı bir şekilde değerlendirebilmek için hesaplama algoritması olarak “sonlu farklar hesaplama yöntemi (finite difference)” tercih edilmiştir. Bursa iline ait .epw uzantılı TMY (Typical meteorological year) hava durumu dosyası enerji hesaplamalarında kullanılmak üzere simülasyon aracına tanımlanmıştır. Çalıştayda yapılan incelemelerde, kullanıcıların ısınma için soba yerine radyatör kullandıkları gözlemlenmiş ve bu nedenle çalışmada ısıtma sistemi için radyatör ile ısıtma seçeneği, soğutma sistemi için ise split klima tercih edilmiştir.

### 3.3 Enerji performans hesaplamalarının yapılması

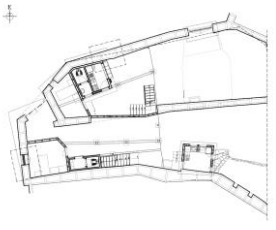
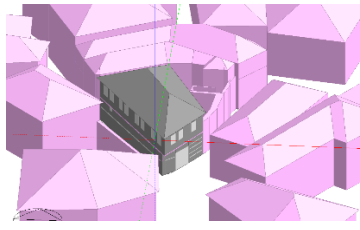
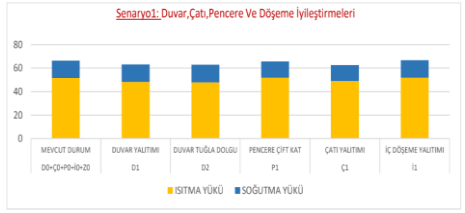
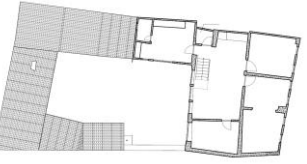

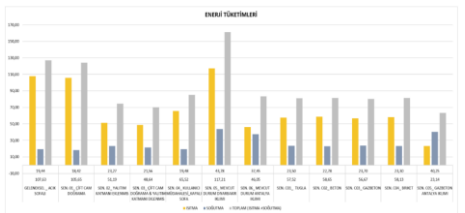
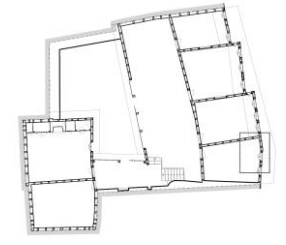
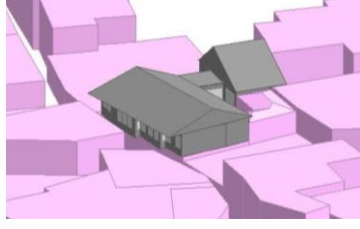
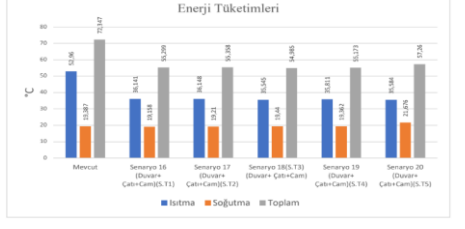

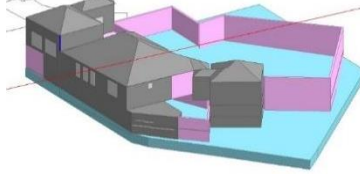
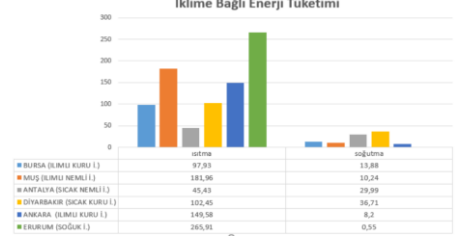
Cumalıkızık Köyü’ndeki seçilen 7 ev için gruplara göre farklılık göstermekle birlikte yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimi ve iç ortam konfor durumu hakkında bilgi veren iç hava sıcaklığı ve operatif sıcaklık hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmada evlerin simülasyon aracı yardımı ile hesaplama süreci 2 aşamalı olarak ele alınmıştır. Bunlar;

- Cumalıkızık evlerinin geometrik modelinin Designbuilder arayüzünde görselleştirilmesi ve diğer girdi verilerini programa tanımlayarak evlerin mevcut durumunun performans ölçütlerine göre hesaplanması ve analiz edilmesi,
- Mevcut durum analizi sonrası evler için birbirinden farklı iyileştirme önerilerinin geliştirilmesi ve mevcut durum ile iyileştirme önerileri geliştirilen senaryoların birbiri ile karşılaştırılması şeklindedir.

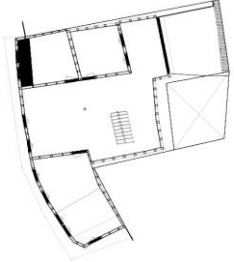
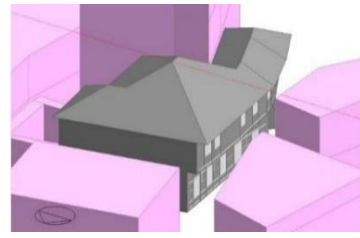
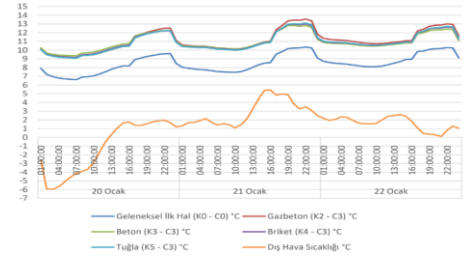
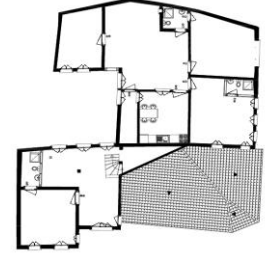

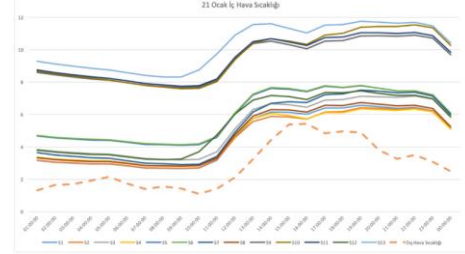
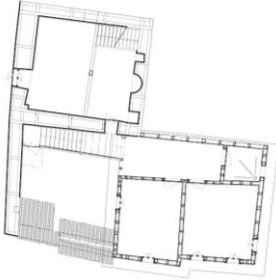
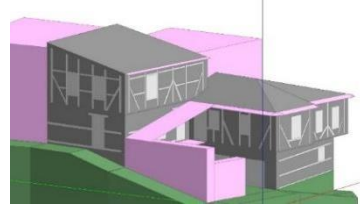
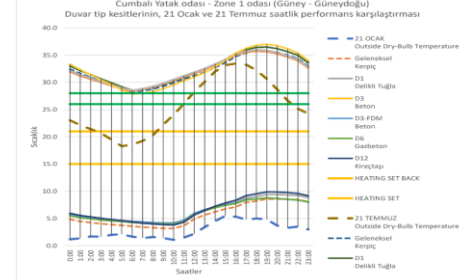
Bu doğrultuda ders kapsamında Cumalıkızık Köyü’nde seçilen evler üzerinde yapılan enerji performans hesaplamaları; mevcut durum ve parametrik analize dayanan iyileştirme önerileri şeklinde tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 1’de görselleştirilmiştir.

Geleneksel evlerin mevcut durumu ile iyileştirme önerilerinin karşılaştırmalı değerlendirmeleri incelendiğinde; tüm grup çalışmalarında seçilen evlerin çevresindeki diğer binaların oluşturabileceği engel durumu dikkate alınarak geometrik modelleri oluşturulmuştur. Tüm gruplarda performans ölçütleri ortak bir şekilde ele alınmış olup, yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimleri aktif iklimlendirmenin bulunduğu varsayılarak hesaplanmıştır. Yılın ısıtma öncelikli bir günü için saatlik iç hava sıcaklığı ve/veya operatif sıcaklık değişimleri de hesaplanarak pasif koşullar altında değerlendirilmiştir. Ancak mevcut durumun iyileştirilmesi için enerji etkin tasarım parametrelerine bağlı olarak önerilen senaryolar gruplara göre farklılık göstermektedir. Bu kapsamda, genellikle bina kabuğu gövde elamanı değiştirilerek TS 825’e göre önerilen ısı geçirme katsayısı değerlerine ulaşılmaya çalışılmıştır. Ayrıca, bazı grup çalışmalarında cam türü değiştirilirken diğer birkaç çalışmada çağdaş bir yapı malzemesi olan faz değiştiren malzeme kullanımı da önerilmiştir. Gruplardan ikisinde mevcut binanın farklı iklim bölgelerindeki performansları değerlendirilirken bir diğer grupta binanın yönünün de sonuçlar üzerindeki etkisi dikkate alınarak farklı yönlendiriliş durumlarının etkisi hesaplanmıştır.

**Tablo 1:** Cumalıkızık Köyü'nde seçilen 7 farklı geleneksel evin enerji performanslarının değerlendirilmesi süreci

Gruplar	Kat planları	Desingbuilder Geometrik modelleri	İyileştirme önerileri	Hesaplama sonuçları temsili grafikleri
Grup 1			Geleneksel bina kabuğu katmanlaşma detaylarına; ısı yalıtımı, FDM, farklı duvar gövde elemanları eklenmiş ve hesaplamalar farklı iklim tipleri için tekrarlanmıştır. Çalışmada 15 senaryo üretilmiştir.	
Grup 2			Geleneksel bina kabuğu katmanlaşma detaylarının dış duvar gövde elemanı farklılaştırılmış, cam türü değiştirilmiş, yalıtım malzemesi kullanılmış ve farklı iklim tiplerinin kullanımına dayalı 11 senaryo geliştirilmiştir.	
Grup 3			Geleneksel bina kabuğu katmanlaşma detaylarına; ısı yalıtımı, FDM, farklı duvar gövde elemanları ve cam türleri eklenmiştir. Üretilen 23 senaryo mevcut durum ile karşılaştırılmıştır.	
Grup 4			Geleneksel bina kabuğu katmanlaşma detaylarına ısı yalıtımı, FDM, farklı duvar gövde elemanları ve cam türleri eklenmiştir. Üretilen 20 senaryo mevcut durum ile karşılaştırılmıştır.	

**Tablo 1:** (devamı)

Gruplar	Kat planları	Desingbuilder Geometrik modelleri	İyileştirme önerileri	Hesaplama sonuçları temsili grafikleri
Grup 5			Geleneksel bina kabuğu ve iç döşeme katmanlaşma detayları için iyileştirme önerilerinde bulunulmuştur. Katmanlaşma önerilerinin dışında, farklı yönlere göre de enerji performans değişimleri karşılaştırılmıştır. Üretilen 11 senaryo mevcut durum ile karşılaştırılmıştır.	
Grup 6			Geleneksel bina kabuğu katmanlaşma detaylarının dış duvar gövde elemanı farklılaştırılmış, ısı yalıtımı ve cam türleri eklenmiştir. Üretilen 13 senaryo mevcut durum ile karşılaştırılmıştır.	
Grup 7			Geleneksel bina kabuğu katmanlaşma detaylarının dış duvar gövde elemanı farklılaştırılmış, ısı yalıtımı ve FDM eklenmiştir. Üretilen 5 senaryo mevcut durum ile karşılaştırılmıştır.	

#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

“Cumalıkızık Geleneksel Evlerinin Enerji Performansı Açısından Değerlendirilmesi” isimli **Eğitim Çalıştayı** kapsamında yapılan değerlendirmeler sonucunda evlerin mevcut durumunun enerji tüketimlerinin azaltılmasının ve iç ortam konfor koşulunun iyileştirilmesinin gerekli olduğu tespit edilmiştir. Geleneksel Cumalıkızık evlerinin enerji korunumu açısından performansı değerlendirildiğinde;

- Geliştirilen çözüm önerileri yardımıyla, kullanıcıların ısı konforunun sağlanmasının daha az enerji harcanarak olanaklı olabildiği,
- Geleneksel evlerdeki ısıtma ve soğutma enerjisi tüketim düzeylerinin geleneksel bina kabuğunun performansı ile doğrudan ilişkili olduğu,
- Yerleşmedeki yoğunluğun binaların güneş ışınımı kazancı dolayısıyla enerji harcamalarını doğrudan etkilediği, en önemli tasarım değişkenlerinden biri olan yönlendirme kriterini de etkisiz kılabilirdiği saptanmıştır.

Çalıştayın sonuçları dersin öğrenme çıktıları açısından değerlendirildiğinde ise; Geleneksel mimari örnekleri yardımıyla yapma çevrenin enerji korunumu açısından performansının değerlendirilmesinin öğrencilere katkı sağladığı konular;

- Enerji korunumlu yapma çevre tasarımında izlenmesi gereken yolun öğrenilmesi,
- Yapma çevrede enerji korunumu konusunda bilince sahip olunması,
- Yapma çevre tasarım sürecine enerji korunumlu stratejilerin entegre edilebilmesi,
- Enerji korunumlu performans değerlendirme sürecinde yeni öneriler geliştirilmesi ve bu önerilerin bina enerji performansı üzerindeki etkisinin anlaşılması şeklindedir.

Ele alınan Cumalıkızık örneği çalışması ve sonuçları ışığında gelecekteki çalışmalarda, geleneksel evlerin restorasyon çalışmalarında enerji korunumunun da dikkate alınarak gerçekleştirilmesi ile geleneksel evlere konut dışı işlev kazandırılmasının yanında kullanıcılar için yaşanabilir ortamlar da oluşturulması sağlanabilir. Ayrıca, geleneksel yerleşmelerin gelecek iklim koşulları altındaki performanslarının incelenmesi ile mevcut özelliklerinin sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesi olanaklı olabilecektir. Son olarak, bu çalışma ile Sürdürülebilir Kalkınma Planı'nın Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar hedefi kapsamında kültürel mirasın ve doğal kaynakların korunumu bakımından uygun önceliklerinin tanımlanması ile geleneksel mimarinin de aktif toplumsal yaşamın içinde yer alabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle Cumalıkızık evlerinin enerji performanslarının değerlendirilmesine dair yürütülen bu çalışmanın bu kapsamda örnek teşkil edeceği düşünülmektedir.

#### TEŞEKKÜR

Cumalıkızık Köyü ile ilgili yapmış olduğumuz ders ve eğitim çalıştayı kapsamında sağlamış olduğu katkısı için Yıldırım Belediyesi'ne teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

1. R. T. Kızılkıuşak, N. Ő. Güçhan, “Erken dönem Osmanlı kırsal yerleşim örneklerinden Cumalıkızık üzerine morfolojik bir okuma”, 3. *Kentsel Morfoloji Sempozyumu*, (2021).
2. R. T. Kızılkıuşak, “Construction techniques of traditional houses in Cumalıkızık Village, Bursa (Turkey)”, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (2019).
3. Z. S. Perker “Geleneksel Cumalıkızık konutlarında cephe özellikleri ve günümüzdeki durum”, *Çatı ve Cephe Sistemleri Dergisi*, 46, (2012).
4. S. G. Bozkurt, “Cumalıkızık’da geleneksel ahşap konutların avlularında görülen değişimler”, 5. *Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi*, İstanbul, (2019).
5. H. S. Yılmaz, “Bursa Cumalıkızık Köyünün tarihi değerlerinin korunması üzerine bir inceleme”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (1999).
6. M. B. Bağbancı, “Examination of the failures and determination of intervention methods for historical Ottoman traditional timber houses in the Cumalıkızık Village, Bursa–Turkey”, *Engineering Failure Analysis*, 35, (2013), pp: 470-479.
7. N. Akinciturk, M. Kilic, “A study on the fire protection of historic Cumalıkızık Village”, *Journal of Cultural Heritage*, 5, (2014), pp: 213-219.
8. S. Özdemir, B. B. Ekici, “Evaluation of the energy performance of traditional Harput Houses: Şefik Gül House sample”, *International Journal of Innovative Engineering Applications*, (2020).
9. G. U. Harputlugil, N. Çetintürk, “Geleneksel Türk Evi’nde ısı konfor koşullarının analizi: Safranbolu Hacı Hüseyinler Evi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 20(1), (2005), pp: 77-84.
10. H. G. Közoğlu, F. Canan, M. Korumaz, “Geleneksel Sille Evleri’nde enerji etkin mimari çözümlerin incelenmesi”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26(1), (2022), pp: 13-24.
11. S. Tüfekçi Topkaya, “Geleneksel Düğmeli Evlerin enerji performansı açısından değerlendirilmesi: Ormana/İbradi örnekleri”, İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (2022).
12. S. Dervishi, F. Pashako, X. Dushaj, I. O. Dervishi, “Energy performance optimization of traditional housing in Mediterranean climate”, *Journal of Building Engineering*, 45(6), (2022), pp: 103423.
13. Yıldırım Belediye İnternet Sitesi, <https://www.yildirim.bel.tr/tr/tarihi-ve-turistik-yerler/cumalikizik>, (son erişim tarihi: 08.03.2024).
14. N. Akıncıtürk, “700 yıllık Cumalıkızık Köyü yapısal sorunlarının fiziksel boyutu,” *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7(1), (2002), pp: 197-210.
15. Z. S. Perker, N. Akıncıtürk, “Cumalıkızık’da ahşap yapı elemanı bozulmaları,” *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 11(2), (2006), pp: 43-51.
16. B. Ak, “Ekolojik tasarım, geleneksel yerleşmeler ve koruma sorunları: Bursa, Cumalıkızık örneği,” Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, (2023).
17. Bursa Alan Başkanlığı İnternet Sitesi, <https://alanbaskanligi.bursa.bel.tr/unesco/yonetim-plani/>, (son erişim tarihi: 01.03.2024).
18. Ö. Bağbancı Köprülü, “Examination of The Material Properties and The Construction Techniques of Traditional Ottoman Timber Houses in The Cumalıkızık Village Bursa Turkey, 6th International Congress on Science and technology for the safeguard of cultural heritage in the Mediterranean basin, Yunanistan, (2013).
19. İ. Aktürk, “Kırsal alanlarda koruma sorunları: Bursa Cumalıkızık Köyü örneği,” *JENAS Journal of Environmental and Natural Studies*, 3(2), (2021), pp: 214-223.
20. TS 825, “Binalarda ısı yalıtım kuralları”, Türk Standardları Enstitüsü, (2013).

# DOĞAL AYDINLATMA SİSTEMİ TASARIMINDA VERİ MADENCİLİĞİ MODELLERİNİN KULLANIMINA YÖNELİK BİR ARAŞTIRMA

Zehra Aybike Kılıç<sup>1</sup>  
Alpin Köknel Yener<sup>2</sup>  
İTÜ Mimarlık Fakültesi, Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

## ÖZET

*Konforlu bir görsel çevre oluşturulması amacıyla doğal ışıktan yararlanılması, geçmişten itibaren mimari tasarım problemlerinin en önemli amaçlarından biri olmaktadır. İç mekânda yeterli günışığı performansını sağlayacak doğal aydınlatma sistemi tasarımı ile fiziksel ve psikolojik açıdan konforlu ve insan sağlığını destekleyici mekanlar elde edilebilmektedir. Günümüz teknolojisinin getirdiği olanaklar, çok sayıda doğal aydınlatma sistemi tasarım seçeneği için gerekli görsel konfor analizlerinin yapılmasını ve optimum çözümü veren tasarım seçeneklerinin belirlenmesini mümkün hale getirmektedir. Ancak özellikle parametrik tasarım yaklaşımları ile birlikte elde edilen büyük miktardaki verinin bir tasarım bilgisine dönüştürülmesi, tasarım kararlarının verilmesinde destek yöntemlere ihtiyaç duyulmasına neden olmaktadır. Bu çalışma, literatürde doğal aydınlatma sistemi tasarımı kapsamında karar destek sistemi olarak kullanılan veri madenciliği modellerinin tanıtılmasını amaçlamaktadır. Bu doğrultuda çalışma veri madenciliği temeli ve süreci hakkında bilgi vererek, doğal aydınlatma sistemini ele alan çalışmalarda kullanılan veri madenciliği modellerini detaylı bir şekilde analiz etmektedir. Çalışmanın doğal aydınlatma sistemi performansının ortaya konmasında veri madenciliği modellerinin kullanılmasına yönelik araştırmacılara bir bakış açısı sunacağı öngörülmektedir.*

*Anahtar sözcükler: Doğal aydınlatma sistemi, günışığı analizi, veri madenciliği, makine öğrenimi, karar destek sistemi*

## ABSTRACT

*Utilizing daylight for creating a comfortable visual environment has become one of the most important aims of architectural design strategies over the last decades. A well-designed daylighting system can make the indoor spaces possible that are comfortable both physically and psychologically, thus promoting human health. Recently developing technology promises to analyse the performance of numerous daylighting system design options and identify the best solutions for visual comfort. However, especially with parametric design approaches, the conversion of the large amount of data obtained into a design knowledge has led to the need for additional support methods in making design decisions, i.e data mining. Considering the evolution of the methods in the daylighting studies within the recent years, this study aims to conduct the detailed literature review to introduce the data mining models used as a decision support system in the daylight research. Accordingly, this study provides information about the basis and process of data mining and analyses in detail the data mining models used in studies on daylighting performance. The study is expected to provide researchers with a perspective on the use of data mining models in revealing the performance of daylighting systems.*

*Key words: Daylighting design, daylight analysis, data mining, machine learning, decision support system*

<sup>1</sup> kilicze@itu.edu.tr

<sup>2</sup> yener@itu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Günüşiği, kişilerin zamanının %90'ından fazlasını iç mekânlarda geçirdiği göz önüne alındığında konforlu, sağlıklı ve sürdürülebilir yapılı çevrenin tasarlanmasında tartışmasız bir öneme sahiptir. Günüşiği ile iç mekânda ilgili görsel eyleme bağı olarak gerekli görsel konfor koşulları sağlanması sonucu kullanıcıların görsel ve görsel olmayan pek çok gereksinimi karşılanabilmektedir [1]. Ek olarak günüşiğinin iç mekânda etkin kullanımı ile aydınlatmaya yönelik enerji tüketimi azaltılarak, kullanımdan kaynaklı karbon salınımı büyük ölçüde azaltılabilmektedir [2]. Günüşiği iç mekâna bina kabuğunda bulunan açıklıklar vasıtası ile alınmaktadır. Doğal aydınlatma sistemleri, bu anlamda iç mekân görsel konfor koşullarının günüşiği ile sağlanması adına erken tasarım evresinden itibaren dikkate alınması gereken en önemli tasarım stratejisi olmaktadır.

Artan kentsel nüfus, iklim krizi, salgınlar ve değişen ihtiyaçlar, binaların ve şehirlerin çok amaçlı ve kapsayıcı bir analitik çerçevede değerlendirilerek tasarlanmasını gerektirmektedir [3]. Özellikle günüşiği etkin bina tasarımı, farklı ölçeklerde ele alınan tasarım kararlarının çeşitli görsel konfor ölçütlerine göre bütüncül bir şekilde değerlendirilmesi ile en uygun tasarım çözümüne yönelik eklemeli bir karar verme sürecinden meydana gelmektedir. Bu doğrultuda doğal aydınlatma sistemine yönelik çok kriterli tasarım parametrelerinin birbiri ile çelişen farklı amaçlar doğrultusunda performans dayalı tasarım çözümü parametrik çalışmalara dayalı optimizasyon yaklaşımlarını beraberinde getirmektedir [4]. Ancak parametrik bir yaklaşım ile üretilen doğal aydınlatma sistemlerinin kapsamlı bir şekilde analiz edilmesi büyük veri kümelerinin oluşmasına neden olmaktadır. Üretilen büyük miktardaki verinin yorumlanması, değerlendirilmesi ve uygulanabilir bir bilgiye dönüştürülmesi noktasında bir karar destek sistemi olarak veri madenciliği yöntemlerinin kullanımı ön plana çıkmaktadır. Günümüzde başta bina enerji performansı olmak üzere erken tasarım aşamasından itibaren performans dayalı yapma çevre tasarımı alanında hem verinin tanımlanması hem de tahmin edilmesi amacı ile veri madenciliği yöntemlerinin kullanımının arttığı görülmektedir [5]. Diğer yandan yapay zekanın gelişmesi, veri madenciliği yöntemlerinin makine öğrenimi algoritmaları ile entegre bir şekilde kullanımlarını beraberinde getirmektedir. Bu sayede özellikle veri madenciliği kapsamındaki tahmin modelleri makine öğrenimi ile birlikte kullanılarak simülasyon programlarına gerek kalmadan doğal aydınlatma sistemi modelleri analiz edilebilmektedir.

Bu çalışma, yapma çevre tasarımında önemli bir bileşen olan optimum doğal aydınlatma sisteminin tasarlanmasında karar destek sistemi olarak veri madenciliği yöntemlerinin kullanımını araştırmayı amaçlamaktadır. Bu doğrultuda çalışma kapsamında veri madenciliği yaklaşımından bahsedilerek iki farklı veri tabanında gerçekleştirilen literatür araştırması sonucu doğal aydınlatma sistemi performansına yönelik veri madenciliği yöntemlerinin kullanımlarına ilişkin bir analiz sunulmaktadır.

## 2. VERİ MADENCİLİĞİ

Veri madenciliği en temel anlamı ile veriden bilginin çıkarılması işlemidir. Günümüzde farklı alanlarda çeşitli araçlarla üretilen pek çok verideki gizli veya görünür dokuların açığa çıkarılarak geçerli bir bilgiye dönüştürülmesi amacıyla veri madenciliği yöntemi uygulanmaktadır [6]. Günümüzde karar almayı etkileyen değişkenlerin sayısının artması ve karar ortamlarının karmaşıklaşması “veri madenciliği” disiplininin veri tabanlı karar destek sistemleri içerisinde yer

alması sonucunu doğurmuştur. Veri madenciliği bu anlamda karar verme süreçlerinde veri içerisindeki gizli bilgiyi keşfederek veya gerçek hayattaki bir sistemin çalışma modelini ortaya çıkararak karar vericiye ileriye yönelik kararların verilmesi için bir destek sağlamaktadır [7]. Bu nedenle günümüzde karar verme süreci olan çoğu alanda veri madenciliği uygulamaları kullanılmaktadır. Binaya yönelik tasarım kararlarında ise özellikle yaygınlaşan parametrik çalışmalar ile büyük veri setlerinin ortaya çıkması sonucu veri setlerinin detaylı analiz edilmesi ve veri içerisinde saklı bulunan örüntü ve eğilimlerin belirlenmesi açısından veri madenciliği karar vericilere önemli bir kolaylık sunmaktadır.

## 2.1. Veri Madenciliği Süreci

Veri madenciliği tek başına çözüme ulaştıran bir yöntem olmayıp karar verme sürecini destekleyen ve hızlandıran, problemi çözmek için ihtiyaç duyulan bilgileri elde etmeyi sağlayan bir yöntemdir. Veri madenciliği bilimi kullanılarak veriden bilgiye giden yolda genel bir süreç takip edilmektedir. En temel anlamda veri madenciliği verinin hazırlanması, bilgi keşfi için madencilik işlemlerinin yapılması ve verinin sunulması olmak üzere 3 aşamadan meydana gelmektedir [8]. Veri madenciliğindeki başarıyı en üst düzeye çıkarmak için veri madenciliği uygulayıcıları ve araştırmacıları bu süreci biraz daha detaylandırarak **Şekil 1**'de belirtilen şekilde tanımlamışlardır [9].



Şekil 1: Veri madenciliği süreci adımları

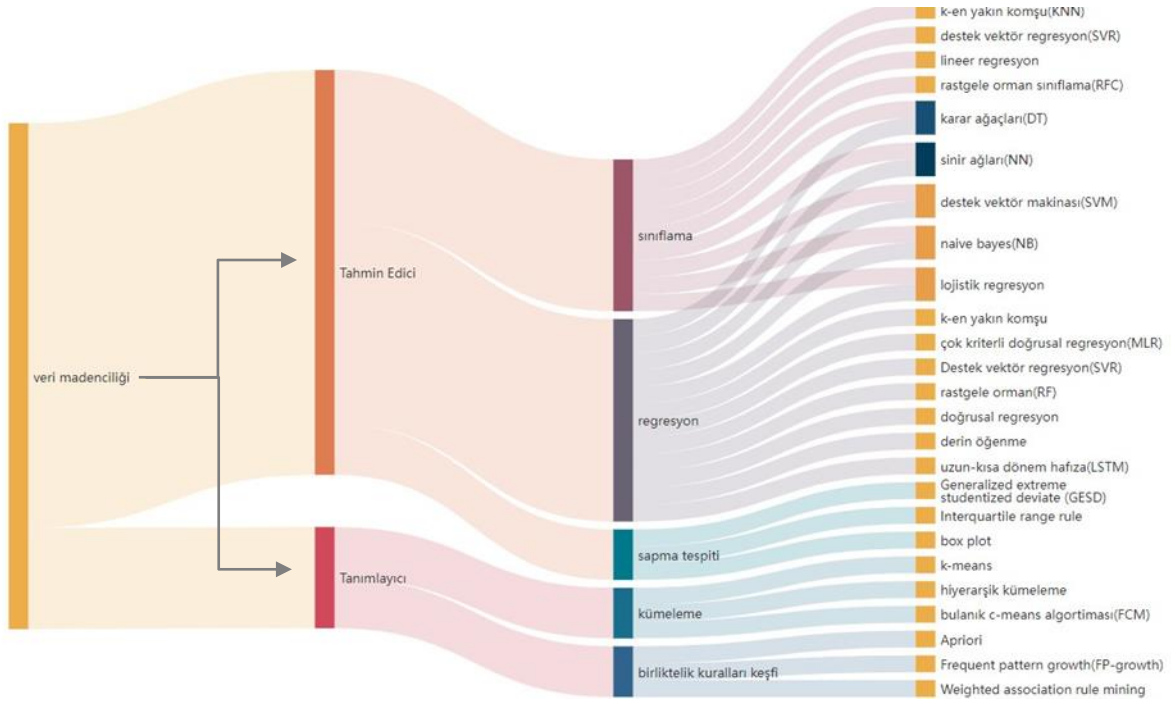
Veri madenciliği yöntemi uygulanacak problemin tanımlanması sürecin başlatılması adına temel aşamadır. Problemin tanımlanmasını takiben seçim adımında, ilgili probleme yönelik veri setinin oluşturulması ve/veya hedef amaç için belirlenen verinin seçimi gerçekleştirilir. Veri madenciliği çalışmalarında iyi bir sonuç elde edilebilmesi başlangıçta hazırlanan verinin uygunluğuna ve kalitesine bağlıdır. Bu doğrultuda ön işleme aşaması önceki adımda tanımlanan veya hazırlanan verinin veri madenciliği yöntemi için hazırlanmasını kapsamaktadır. Dönüştürme aşaması, verinin farklı veri madenciliği yöntemleri için dönüştürülmesi aşamasıdır. Model kapsamında ele alınan tüm değişkenler için veri farklılıkları belirli bir maksimum ve minimum arasında normalleştirilir [10]. Model kurma aşaması, belirlenen amaçlara uygun olarak veri madenciliği ve/veya makine öğrenimi modellerinin seçilerek ilgili veri setine uygulanma adımlarını içermektedir. İyi kurulmuş bir model eğitim, doğrulama ve test için geniş giriş ve çıkış aralıklarını içeren yeterli ve tarafsız veri tabanları gerektirmektedir [11]. Son aşama olan yorumlama aşamasında ise geliştirilen modeller güvenilirlikleri ve doğrulukları bakımından değerlendirilerek, oluşturulan örüntünün yeterli bilgiyi içerip içermediği kontrol edilir. İnceleme sonucu seçilen modelin ve oluşturulan örüntünün hedeflenen amacı yerine getirmediği tespit edilirse önceki adımlar tekrar edilir.

## 2.2. Veri Madenciliği Modelleri

Veri madenciliği yöntemleri geleneksel yöntem olarak istatistik bilimini esas alırken, günümüzde makine öğrenimi ve yapay zeka yöntemleri ile entegre bir şekilde kullanılmaktadır. Veri madenciliği yöntemleri temelde tahmin edici ve tanımlayıcı olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.



Öğrenme tekniklerine göre geliştirilen, tahmin edici ve tanımlayıcı yöntemler içerisinde sık kullanılan modeller Şekil 2’de verildiği gibi olmaktadır. Makine öğrenimi disiplini ile entegre olduğu noktada veri madenciliği modelleri denetimli(supervised) ve denetimsiz(unsupervised) öğrenme modelleri olarak adlandırılmaktadır. Denetimsiz öğrenme türü olan tanımlayıcı veri madenciliği yöntemleri herhangi bir çıktı verisi olmadan hedef değişkenleri belirlemek için veri seti içerisindeki bilinmeyen oluşumları ortaya çıkarmayı amaçlamaktadır [11]. Tahmin edici diğer bir deyişle denetimli öğrenme, diğer nitelikler yardımıyla hedeflenen bir niteliğin değerinin tahmin edilmesine dayalı modellerdir. Bu yöntemler veri setindeki pek çok girdi değişkenleri ile çıktı değişkenlerinden biri arasında bağlantı kuran bir model oluşturmak için genelleştirilen veri setini analiz ederler [11]. Bina sektöründe veri madenciliği modellerinden en çok regresyon modelleri kullanılırken, sınıflandırma ve kümeleme modelleri ise tahmin modellerinden sonra en çok kullanılan yöntemlerdir [5].



Şekil 2: Veri madenciliği modelleri ve yaygın kullanılan algoritmalar [5]

### 2.2.1. Tahmin modelleri

Sınıflama ve regresyon veri analizi tahmin modellerinin iki ana türüdür. Bunlardan sınıflama kategorik değerleri tahmin ederken, regresyon süreklilik sayısal (nümerik) verilerin tahmin edilmesinde kullanılır [6]. Sınıflandırma süreci temelde öğrenim (learning) ve sınıflandırma(classification) olmak üzere 2 ana adımdan oluşur. Öğrenme aşamasında test verisi sınıflandırma algoritması tarafından öğrenilir ve sınıflandırma kuralı algoritma tarafından tanımlanır. Regresyon ise sınıflandırma ile oldukça benzer bir sürece sahiptir. Regresyon ile sınıflandırma arasındaki tek fark regresyon modellerinde tahmin edilen değişkenin sürekli olmasıdır [12]. Diğer bir deyişle regresyon modelinin çıktıları evet-hayır veya 0-1 gibi ikili veya n sayıda çıktı barındırmaz, sınırsızdır. Veri madenciliğinde sıklıkla kullanılan sınıflandırma ve regresyon modelleri Lojistik Regresyon(logistic regression), Bayes sınıflandırması(Bayes

classification), K-en yakın komşu( K-Nearest Neighbors), Karar ağaçları(Decision Tree), Rastgele Orman(Random Forest), Sinir Ağları(Neural Network) ve Destek Vektör Makinası(Support Vector Machine) olarak sıralanmaktadır.

### 2.2.2. Tanımlayıcı modeller

Veri madenciliği modellerinden kümeleme ve birliktelik kuralları denetimsiz/tanımlayıcı modeller kapsamında sıklıkla kullanılan modeller olmaktadır [13]. Kümeleme, veriyi sınıflara veya kümelere ayırma işlemi olarak ifade edilmektedir. Kümeleme işlemi yönteminde amaç üyelerinin birbirlerine çok benzediği, fakat özellikleri bakımından birbirlerinden çok farklı olan kümelerin ortaya çıkarılması ve veri tabanındaki kayıtların bu farklı olan kümelere ayrılmasıdır [14]. Birliktelik analizi ise verilen bir veri kümesinde sıkça tekrarlanan nitelik-değerli koşulları gösteren birliktelik kurallarının araştırılmasıdır [15]. Diğer bir ifade ile birliktelik analizi, belli bir destek ve güven eşik değeri yardımıyla birlikte sık görülen işlemlerin, kayıtların veya verilerin tespit edilip analiz edilmesidir. Böylece destek ve güven eşik değerleri kullanılarak veri seti içindeki en önemli ilişkiler analiz edilerek tanımlanabilmektedir [16].

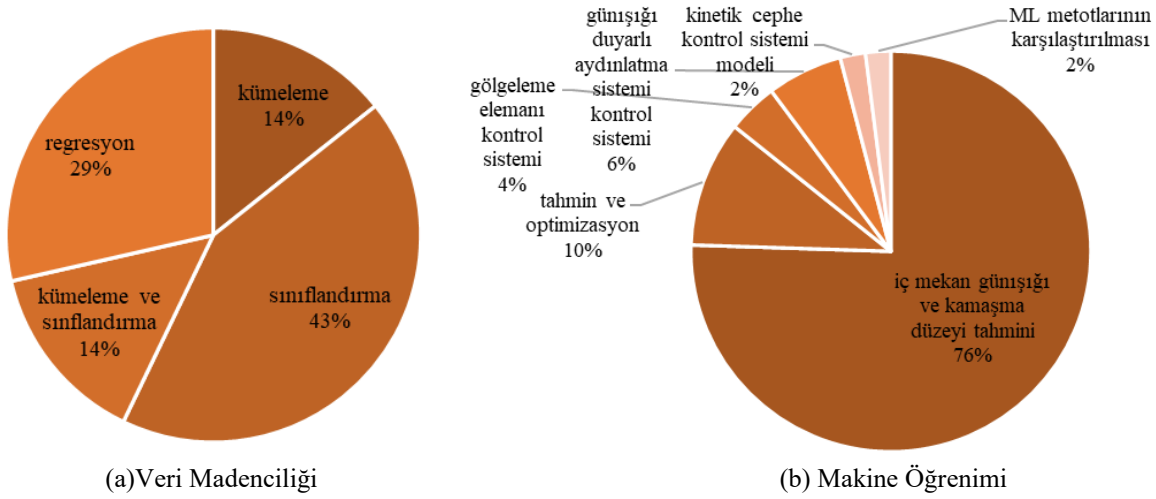
## 3. DOĞAL AYDINLATMA SİSTEMİ TASARIMINDA VERİ MADENCİLİĞİ MODELLERİNİN KULLANIMINA YÖNELİK BİR ARAŞTIRMA

Günlüğü kullanıcı konforunun sağlanması ve bina enerji etkinlik düzeyinin artırılması için önemli bir parametredir. Bu nedenle iç mekân günlüğü etkinliğinin analiz edilmesi ve doğal aydınlatma sistemi performansının değerlendirilmesi tasarım kararlarının verilmesi sürecinde oldukça kritiktir. Günlüğü simülasyonları bu süreçte doğru tahminler sunan ancak karmaşık bir dizi girdi gerektirmektedir. Özellikle yinelemeli tasarım alternatifleri için günümüz teknolojisi ile kabul edilebilir zaman dilimlerinde hızlandırılmış ön yaklaşımların elde edilmesi uzun zamanlar gerektirmektedir [11]. Bu nedenle veri madenciliği modelleri, yaygınlaşan parametrik çalışmalar sonucu meydana gelen büyük veri setleri üzerinden tasarım örüntülerinin detaylı bir analiz ile belirlenmesi, makine öğrenimi ile birleşmesi sonucu ise karmaşık doğrusal olmayan problemleri ele alarak ağır simülasyonlara vekil olarak kullanılması bakımından literatürde ön plana çıkmaktadır.

Doğal aydınlatma sistemi tasarımında veri madenciliği yöntemlerinin kullanımına yönelik çalışmalar “Scopus” ve “Web of Science” olmak üzere iki farklı veri tabanında “*data mining AND daylight OR daylighting*” ve “*machine learning AND daylight OR daylighting*” anahtar kelimeleri kullanılarak ve herhangi bir tarih sınırlaması olmadan taranmıştır. Sadece veri madenciliği alanında 7 adet, makine öğrenimi ile birlikte 60 adet olmak üzere toplam 66 adet bilimsel çalışmaya ulaşılmıştır. Bu çalışmalar içerisinde kapsam dışı olanları elenerek analizler 61 adet çalışma üzerinden gerçekleştirilmiştir. Çalışmalardan 4 tanesi derleme makale, 46 tanesi araştırma makalesi ve 11 tanesi bildiri olarak belirlenmiştir. Literatür araştırması sonucu seçilen çalışmalar doğal aydınlatma sisteminin analiz amacına, hedeflenen/tahmin edilen çıktılara ve çalışmalarda kullanılan veri madenciliği algoritmalarına göre analiz edilmiştir.

### 3.1. Veri Madenciliği Modellerinin Kullanım Amaçları

Binalarda günışığı performansını değerlendiren çalışmaların hem veri madenciliği hem de makine öğrenimi modellerini kullanım amaçları bakımından dağılımları Şekil 3'te verildiği gibi olmaktadır. Veri madenciliği modellerinin büyük bir kısmının doğal aydınlatma sistemi tasarımına bağlı olarak meydana gelen aydınlık düzeyi değerlerini sınıflandırarak doğal aydınlatma sistemi performansını tahmin etmek amacı ile kullanıldığı görülmektedir [17], [18]. Kullanılan sınıflandırma modelleri ile aynı zamanda ele alınan çıktılara göre farklı doğal aydınlatma sistemi tasarım alternatifleri için görsel konfor düzeyi tahminleri yapılabilmektedir [19]. Diğer yandan çeşitli doğal aydınlatma sistemi tasarım parametrelerine göre yapma aydınlatma sistemi kullanım süreleri sınıflandırma modelleri kullanılarak tahmin edilmektedir [20]. Tanımlayıcı yöntemlerden biri olan kümeleme yöntemi ise günışığı çalışmalarında genellikle çeşitli ölçüm sonuçlarına bağlı olarak belirgin tasarım örüntülerinin çıkarılması veya kontrol sistemlerine yönelik kullanıcı davranışlarının belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır [21].

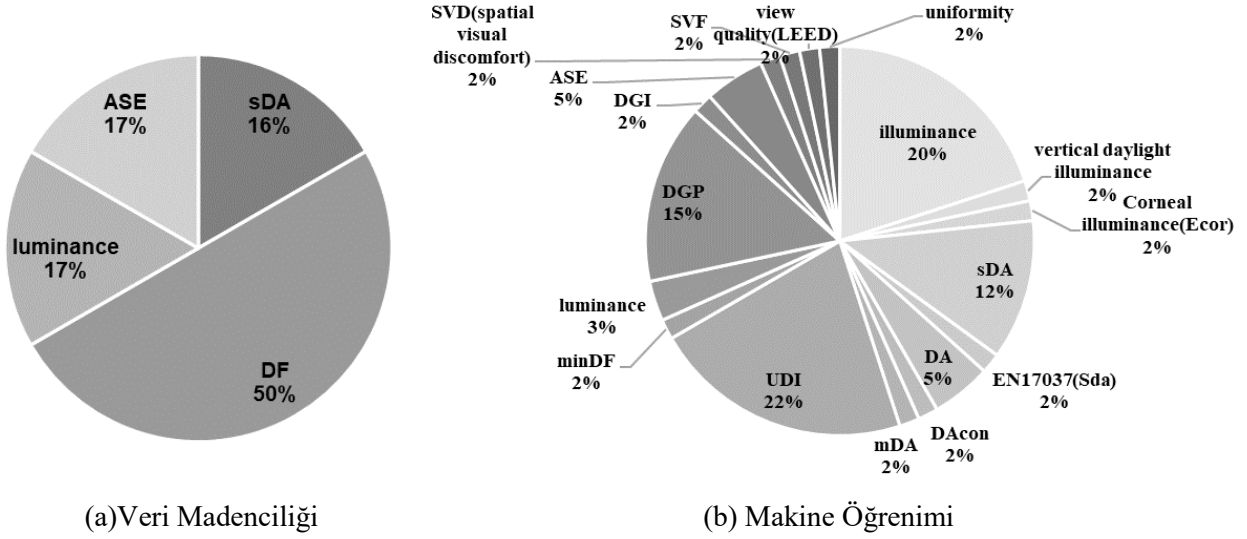


Şekil 3: Veri madenciliği modellerinin kullanıldığı çalışmaların amaçlarına göre dağılımları

Literatürde makine öğrenimi ile entegre olan günışığı çalışmalarının büyük bir kısmının iç mekan günışığı aydınlık ve kamaşma düzeyinin tahmin edilmesi amacıyla kurgulandığı görülmektedir [22], [23]. Bu çalışmalardan bazılarında aynı zamanda kullanıcı görsel konforunun belirlenmesi ve konfor parametrelerine yönelik kullanıcı tercihlerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır [24], [25]. Diğer yandan veri madenciliği modelleri, yatay ve düşey düzlemlerde meydana gelen günışığı aydınlık düzeyinin sınıflandırılması ve tahmin edilmesi aracılığı ile günışığı duyarlı yapma aydınlatma ve güneş kontrol sistemi modellerinin geliştirilmesi [26], [27] ve cephe yüzeyinde meydana gelen aydınlık düzeyine bağlı olarak kinetik cephe kontrol sistemi modeli önerilmesi [28] adına yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ek olarak makine öğrenimi sayesinde veri madenciliği modelleri ile iç mekân kullanıcı konforuna etki eden çeşitli doğal aydınlatma sistemi parametrelerinin önem dereceleri belirlenebilmektedir [29]. Ele alınan çalışmalardan bazıları ise günışığı odaklı çalışmalarda kullanılan veri madenciliği modellerinin ve makine öğrenimi algoritmalarının performans karşılaştırmasını yaparak çalışmalarda sıklıkla kullanılan algoritmalar için güvenilirlik ve doğruluk özellikleri bakımından bilgi vermektedir [30], [31], [32].

### 3.2. Veri Madenciliği Modellerinde Hedeflenen Çıktı Ölçütler

Doğal aydınlatma sistemine bağlı olarak iç mekan günışığı performansının değerlendirildiği çalışmalar kapsamında, 19 farklı görsel konfor değerlendirme ölçütü, 5 farklı aydınlatma/toplam bina enerji tüketimine yönelik performans ölçütü ve 4 farklı kullanıcı görsel konfor tercihinin belirlenmesine yönelik ölçüt hedef çıktı olarak ele alınmaktadır. Belirtilen aydınlatmaya yönelik değerlendirme ölçütlerine ek olarak çalışmalarda ısısal konfora ve ısıtma-soğutma enerji tüketimine yönelik çıktılar da kullanılmaktadır. Çalışma kapsamı gereği günışığına bağlı meydana gelen görsel çevrenin ve kullanıcı konforunun değerlendirilmesi amacı ile veri madenciliği modellerinin kullanıldığı çalışmalarda belirlenen hedef değerlendirme ölçütleri Şekil 4'te verildiği gibi olmaktadır.



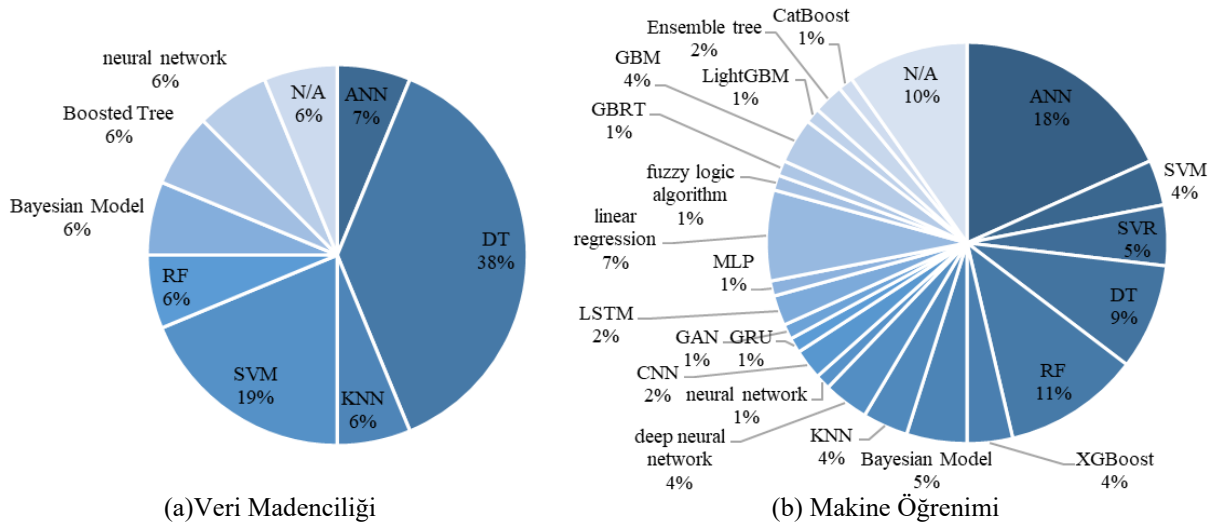
Şekil 4: Veri madenciliği modellerinde hedef çıktı olarak tanımlanan günışığı değerlendirme ölçütlerinin dağılımı

Karar destek sistemi olarak veri madenciliği modellerinin kullanıldığı çalışmalara bakıldığında, çalışmaların yarısının Günışığı Faktörü(DF) değerlendirme ölçütünü hedef çıktı olarak kullandığı, bunun yanısıra sırasıyla çalışmalarda Yıllık Güneş Işığı Maruziyeti(ASE), Mekansal Günışığı Otonomisi(sDA) ve Parlıltı (Luminance) hedef ölçütleri için veri madenciliği modelleri geliştirildiği görülmektedir. Makine öğrenimi ile entegre bir şekilde veri madenciliği modellerinin kullanıldığı çalışmalarda ise en çok Faydalı Günışığı Aydınlanğı (UDI) değerlendirme ölçütünün hedef çıktı olarak ele alındığı görülmektedir. Bunun yanısıra yatay düzlemdeki Aydınlanğı Düzeyi(Illuminance), Günışığı Kamaşma Olasılığı(DGP) ve Mekansal Günışığı Otonomisi(sDA) yöntemleri çalışmalarda sıklıkla hedef ölçüt olarak tanımlanmıştır. Günışığı etkinliğinin belirlenmesine yönelik Günışığı Otonomisi(DA), Maksimum Günışığı Otonomisi(mDA), Sürekli Günışığı Otonomisi(DAcon), Minimum Günışığı Faktörü(minDF) ve TS EN 17037 standardı kapsamında yer alan iklime dayalı yıllık günışığı etkinliği değerlendirme ölçütü analiz edilen çalışmalarda hedef çıktı olarak tanımlanan diğer ölçütler olmaktadır. Kamaşma düzeyinin belirlenmesine ilişkin ele alınan değerlendirme ölçütleri ise Günışığı Kamaşma Olasılığı (DGP), Yıllık Güneş Işığı Maruziyeti (ASE), Parlıltı (Luminance), Günışığı Kamaşma İndeksi (DGI) ve Mekansal Görsel Konforsuzluk (SVD) ölçütleri olarak sıralanmaktadır. Günışığı aydınlığı ve kamaşma ölçütlerinin yanısıra aydınlığın düzgünlüğünü tanımlayan Düzgünlük (Uniformity) ve dış görüşe erişimi değerlendiren View Quality (VQ) değerlendirme ölçütleri veri madenciliği

modellerinin kullanıldığı çalışmalarda hedef çıktı olarak belirlenen ölçütler arasındadır. Ele alınan çalışmalarda kullanılan hedef çıktı ölçütleri genellikle doğal aydınlatma sistemi tasarımına bağlı olarak görsel konfor koşullarının sağlanması, enerji etkin çözümler geliştirilmesi ve kullanıcı odaklı görsel çevrelerin tasarlanması amaçları ile tercih edilmektedir. Doğal aydınlatma sistemi tasarımına bağlı olarak iç mekanda meydana gelen aydınlık düzeyi ve kamaşma seviyesinin belirlenmesine ilişkin değerlendirme ölçütlerinin veri madenciliği yöntemlerinde sıklıkla kullanıldığı, kullanıcı görsel konforunu etkileyen dış görüş ve güneş ışığı maruziyeti ölçütlerini hedef çıktı olarak belirleyen çalışmaların azınlıkta kaldığı görülmektedir.

### 3.3. Kullanılan Veri Madenciliği Modelleri

Çalışma kapsamında analiz edilen yayınlarda kullanılan çeşitli veri madenciliği modelleri ve makine öğrenimi algoritmaları kullanım sıklıkları ile birlikte Şekil 5'te verilmektedir. Doğal aydınlatma sistemi performansının değerlendirildiği makine öğrenimi çalışmalarında Yapay Sinir Ağları (ANN) modelleri (%18) en çok kullanılan model olurken, sırasıyla Rastgele Orman (RF) ve Karar Ağaçları (DT) modelleri sinir ağlarından sonra çalışmalarda sıklıkla tercih edilen modeller olmaktadır. Veri madenciliğinin esas alındığı çalışmalarda ise sıralama değişerek Karar Ağaçları (DT) en çok tercih edilen model olurken (%38), Destek Vektör Makinası (SVM) ve Yapay Sinir Ağları (ANN) karar ağaçlarından sonra en çok tercih edilen modeller olarak sıralanmaktadır. Makine öğrenimi ile entegre olarak kullanılan veri madenciliği çalışmalarında özellikle sürekli değerlerin tahmin edilmesi amacıyla tercih edilen sinir ağlarına (Neutral Network) dayalı modellerin yaygın bir şekilde kullanıldığı görülürken [33], geleneksel veri madenciliğine dayalı gerçekleştirilen çalışmalarda Karar Ağaçları (DT), Destek Vektör Makinası (SVM) ve Rastgele Orman(RF) gibi modellerin daha çok tercih edildiği görülmektedir.



Şekil 5: Doğal aydınlatma sistemi performansının değerlendirilmesine yönelik kullanılan veri madenciliği modelleri

Herhangi bir tahmin veya tanımlayıcı modelin geliştirilmesinin yansıra çeşitli çalışmalar iç mekan günışığı performansının değerlendirilmesi için optimum performans gösteren modelin belirlenmesi amacı ile farklı veri madenciliği modelleri arasında karşılaştırma yapmaktadır. Bu doğrultuda Genelleştirilmiş Doğrusal Modeller(GLM), derin sinir ağları(DNN), Rastgele Orman(RF) ve Gradyan Artırma(GBM) makine öğrenimi modelleri arasından derin sinir ağları(DNN) iç mekan

günüşiği dağılımının tahmin edilmesi amacı ile en güvenilir yöntem olarak belirlenirken [29], kamaşma ve aydınlık düzeyi tahminine yönelik iyi eğitilmiş Karar Ağacı(DT) modeli K- En Yakın Komşu(K-nearest neighbor) modeline göre ve Rastgele Orman(RF) modeli Destek Vektör Makinası(SVM) modeline göre doğruluk dereceleri daha yüksek olarak belirlenmiştir[34]. Çalışma kapsamında analiz edilen çalışmalara bakıldığında genel olarak günüşiği aydınlık düzeyi gibi sayısal değerlere yönelik makine öğrenimi ile entegre olarak geliştirilen tahmin modeli çalışmalarında sinir ağlarına dayalı yöntemler daha iyi bir performans gösterirken, karar ağaçlarının doğal aydınlatma tasarımına bağlı görsel konfor sınıfının belirlenmesi ve kullanıcı görsel konfor durumunun tahmin edilmesi amacı ile geliştirilen modellerde diğer veri madenciliği modellerine göre daha yüksek doğruluk oranları sağladığı görülmektedir.

#### 4. SONUÇ

Günüşiğinin mekân içerisine alınmasını sağlayan doğal aydınlatma sistemine yönelik kapsayıcı ve performansa dayalı tasarım yaklaşımları büyük veri havuzlarının oluşmasına, böylelikle verinin bilgiye dönüştürülmesinde yeni yöntemlere ihtiyaç duyulmasına neden olmaktadır. Veri madenciliği disiplini doğal aydınlatma sistemine yönelik optimum tasarım kararının verilmesinde, sistem performansının değerlendirilmesinde ve kullanıcı konfor düzeyinin belirlenmesinde bir destek sistemi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle son yıllarda makine öğrenimi teknolojisinin gelişmesi ile birlikte uzun emek ve süre gerektiren simülasyon yöntemleri yerine, iç mekân günüşiği performansının tahmin edilmesinde veri madenciliği modellerinin kullanımları artış göstermektedir. Bu çalışma doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik iç mekân günüşiği performansını, kullanıcı görsel konfor düzeyini ve bina enerji performansının değerlendirmesinde veri madenciliği modellerinin kullanımlarını çalışmanın amaçları, hedef çıktıları ve kullanılan modeller olmak üzere üç farklı başlık altında analiz etmektedir. Yapılan literatür araştırması sonucu toplam 60 adet yayın üzerinden çalışma kapsamında tanımlanan üç farklı başlık için genel sonuçlar şu şekilde olmaktadır;

- (I) Veri madenciliği modellerinin kullanıldığı doğal aydınlatma sistemi odaklı çalışmaların önemli bir kısmı iç mekân günüşiği performansının (aydınlık düzeyi ve kamaşma) tahmin edilmesi amacı ile gerçekleştirilmektedir.
- (II) Kullanılan modeller ile ele alınan hedef çıktılar genellikle Günüşiği Faktörü (DF), Faydalı Günüşiği Aydınlatma (UDI) ve Günüşiği Kamaşma Olasılığı (DGP) olarak tanımlanmaktadır.
- (III) Veri madenciliği modellerinden özellikle regresyon ve sınıflandırma modelleri günüşiği çalışmalarında sıklıkla kullanılırken, sinir ağları ve karar ağaçları modellerine dayalı algoritmalar doğruluk ve güvenilirlik yüzdeleri nedeni ile tercih edilmektedir.

Bu çalışma günüşiği alanında çalışan uzmanlar için veri madenciliği modellerinin kullanım potansiyelleri hakkında bilgi vererek, gelecek çalışmalar için doğal aydınlatma sistemi tasarımında karar destek sistemi olarak veri madenciliği kullanımını alternatif bir yaklaşım olarak sunmaktadır. Literatür araştırması iki büyük veri tabanı üzerinden yapılmasına karşın, farklı veri tabanlarında yer alan çalışmaların çalışma kapsamına dahil edilmemesi çalışmanın kısıtı olarak kabul edilebilir. Gelecek çalışmalar için veri madenciliği modelleri ile birlikte günüşiği etkinliğinin ele alındığı çalışmaların modelde girdi olarak kullanılan tasarım parametreleri ve veri madenciliği modellerine yönelik kullanılan algoritmalar gibi daha detaylı başlıklar ile kapsamının genişletilmesi önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

1. S. Altomonte, "Daylight for Energy Savings and Psycho-Physiological Well-Being in Sustainable Built Environments", *J Sustain Dev*, c. 1, sy 3, ss. 3-16, 2009, doi: 10.5539/jsd.v1n3p3.
2. Y. Zhong, Z. Qin, R. Feng, ve Y. Liu, "Low-carbon design: Building optimization considering carbon emission, material utilization, and daylighting", *J Clean Prod*, c. 434, 2024, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.140087.
3. A. M. Hosney Lila ve S. Lannon, "A parametric sensitivity analysis of the impact of built environment geometrical variables on building energy consumption", içinde *Proceedings of 33rd PLEA International Conference: Design to Thrive, PLEA 2017*, 2017.
4. R. A. Mangkuto, M. Rohmah, ve A. D. Asri, "Design optimisation for window size, orientation, and wall reflectance with regard to various daylight metrics and lighting energy demand: A case study of buildings in the tropics", *Appl Energy*, c. 164, ss. 211-219, 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.11.046.
5. H. Yan, N. Yang, Y. Peng, ve Y. Ren, "Data mining in the construction industry : Present status , opportunities , and future trends", *Autom Constr*, c. 119, sy June, s. 103331, 2020, doi: 10.1016/j.autcon.2020.103331.
6. J. Ha, M. Kambe, ve J. Pe, *Data Mining*. Elsevier, 2012. doi: 10.1016/C2009-0-61819-5.
7. İ. Köse, *Veri Madenciliği:Teori Uygulama ve Felsefesi*. İstanbul: Papatya Yayıncılık Eğitim, 2018.
8. Power, Daniel J., "Decision Support Systems: Concepts and Resources for Managers" Faculty Book Gallery. 67, 2002. <https://scholarworks.uni.edu/facbook/67>.
9. H. Akpınar, *DATA: Veri Madenciliği Veri Analizi*, 2. bs. İstanbul: Papatya Bilim, 2018.
10. Ö. Sebetci, *Karar Destek Sistemleri (Veri Ambarı - Veri Madenciliği - Klinik ADS) Akademi Derleme*, 1. bs. İstanbul: Hiperlink Yayınları, 2020.
11. M. Ayoub, "A review on machine learning algorithms to predict daylighting inside buildings", *Solar Energy*, c. 202, sy January, ss. 249-275, May. 2020, doi: 10.1016/j.solener.2020.03.104.
12. Savaş,S. "Sınıflandırma, Regresyon, Kümeleme ve Birliktelik Kuralları".<https://medium.com/veri-madencili%C4%9Fi/s%C4%B1n%C4%B1fland%C4%B1rma-regresyon-k%C3%BCmeleme-ve-birliktelik-kurallar%C4%B1-e8ee1e47aeed>. Erişim Tarihi: 15. 02. 2024.
13. S. Özekes, "Veri Madenciliği Modelleri ve Uygulama Alanları", *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 2, sy 3, ss. 65-82, 2003.
14. Y. Taş, "BİRLİKTELİK KURALLARI MADENCİLİĞİ VE BİR UYGULAMA", Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sivas, 2018.
15. A. Oğuzlar, "VERİ MADENCİLİĞİNDE BİRLİKTELİK KURALLARI", *Öneri Dergisi*, c. 6, sy 22, ss. 315-321, 2004.
16. L. Sabah ve H. Bayraktar, "Veri Madenciliği Birliktelik Kuralları Yöntemi Kullanarak Binaların Risk Durumlarının Belirlenmesi", *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 6, sy 1, ss. 70-78, 2020.
17. A. Ahmed, N. E. Korres, J. Ploennigs, H. Elhadi, ve K. Menzel, "Mining building performance data for energy-efficient operation", *Advanced Engineering Informatics*, c. 25, sy 2, ss. 341-354, Nis. 2011, doi: 10.1016/j.aei.2010.10.002.
18. A. Ahmed, M. Otreba, N. E. Korres, H. Elhadi, ve K. Menzel, "Assessing the performance of naturally day-lit buildings using data mining", *Advanced Engineering Informatics*, c. 25, ss. 364-379, 2011, doi: 10.1016/j.aei.2010.09.002.

19. I. Loche, C. Bleil de Souza, A. B. Spaeth, ve L. O. Neves, “Decision-making pathways to daylight efficiency for office buildings with balconies in the tropics”, *Journal of Building Engineering*, c. 43, s. 102596, 2021, doi: 10.1016/j.jobbe.2021.102596.
20. M. M. Ouf, H. B. Gunay, ve W. O’Brien, “A method to generate design-sensitive occupant-related schedules for building performance simulations”, *Sci Technol Built Environ*, c. 25, sy 2, ss. 221-232, 2019, doi: 10.1080/23744731.2018.1514855.
21. B. Xia ve Z. Li, “Optimization of residential urban-block morphology based on its synthetic effects on indoor and outdoor natural lighting environments”, *Sustain Cities Soc*, c. 97, 2023, doi: 10.1016/j.scs.2023.104698.
22. D. H. W. Li ve E. I. Aghimien, “Predicting Vertical Daylight Illuminance Data from Measured Solar Irradiance: A Machine Learning-Based Luminous Efficacy Approach”, *Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME*, c. 145, sy 3, 2023, doi: 10.1115/1.4055915.
23. J. Yao, “DEVELOPMENT OF MACHINE LEARNING MODELS FOR PREDICTING DAYLIGHT GLARE PROBABILITY”, *Light and Engineering*, c. 29, sy 5, 2021, doi: 10.33383/2021-015.
24. J. Xiong vd., “Inferring personalized visual satisfaction profiles in daylit offices from comparative preferences using a Bayesian approach”, *Build Environ*, c. 138, 2018, doi: 10.1016/j.buildenv.2018.04.022.
25. I. Chatzikonstantinou ve S. Sariyildiz, “Approximation of simulation-derived visual comfort indicators in office spaces: A comparative study in machine learning”, *Archit Sci Rev*, c. 59, sy 4, 2016, doi: 10.1080/00038628.2015.1072705.
26. T.-C. Kuo, Y.-C. Chan, ve A. Y. Chen, “An Occupant-Centered Integrated Lighting and Shading Control for Energy Saving and Individual Preferences”, 2017. doi: 10.1061/9780784480847.026.
27. C. Basurto, R. Boghetti, M. Colombo, M. Papinutto, J. Nembrini, ve J. H. Kämpf, “Implementation of machine learning techniques for the quasi real-time blind and electric lighting optimization in a controlled experimental facility”, içinde *Journal of Physics: Conference Series*, 2021. doi: 10.1088/1742-6596/2042/1/012112.
28. M. Takhmasib, H. J. Lee, ve H. Yi, “Machine-learned kinetic Façade: Construction and artificial intelligence enabled predictive control for visual comfort”, *Autom Constr*, c. 156, 2023, doi: 10.1016/j.autcon.2023.105093.
29. Z. Luo, C. Sun, Q. Dong, ve X. Qi, “Key control variables affecting interior visual comfort for automated louver control in open-plan office – a study using machine learning”, *Build Environ*, c. 207, 2022, doi: 10.1016/j.buildenv.2021.108565.
30. M. Arbab, M. Rahbar, ve M. Arbab, “A Comparative Study of Artificial Intelligence Models for Predicting Interior Illuminance”, *Applied Artificial Intelligence*, c. 35, sy 5, 2021, doi: 10.1080/08839514.2021.1882794.
31. J. Ngarambe, A. Irakoze, G. Y. Yun, ve G. Kim, “Comparative performance of machine learning algorithms in the prediction of indoor daylight illuminances”, *Sustainability (Switzerland)*, c. 12, sy 11, 2020, doi: 10.3390/su12114471.
32. M. W. Ahmad, J. L. Hippolyte, M. Mourshed, ve Y. Rezgui, “Random forests and artificial neural network for predicting daylight illuminance and energy consumption”, içinde *Building Simulation Conference Proceedings*, 2017. doi: 10.26868/25222708.2017.525.
33. Q. Liu, Y. Chen, Y. Liu, Y. Lei, Y. Wang, ve P. Hu, “A review and guide on selecting and optimizing machine learning algorithms for daylight prediction”, *Build Environ*, c. 244, s. 110822, Eki. 2023, doi: 10.1016/j.buildenv.2023.110822.
34. Y. Tan vd., “Daylight-electrical-thermal coupling model for real-time zero-energy potential analysis of vacuum-photovoltaic glazing”, *Renew Energy*, c. 205, 2023, doi: 10.1016/j.renene.2023.01.116.



# EĞİTİM BİNALARINDA DOĞAL AYDINLATMA TASARIMININ GÜNCEL MEVZUAT KAPSAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ

Elif Ranaer Harputluoğlu<sup>1</sup>

Alpin Köknel Yener<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> İTÜ Mimarlık Fakültesi, Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

<sup>1</sup> BTÜ Mimarlık Fakültesi, Yıldırım, Bursa, 16320

## ÖZET

*Eğitim binaları; çocukların sosyal, kültürel ve kamusal ortama katıldıkları ilk ortam olmaları nedeniyle tasarımına hassaslıkla yaklaşılması gereken bir bina tipolojisidir. Eğitim binalarının tasarımında sağlamlık, güvenlik ile estetik ve kültürel açıdan çeşitli gereklilikler sağlanırken; eğitim işlevini doğru ve etkin bir şekilde yerine getirmek için öğrenciler ve onların konforunun göz önünde bulundurulması şarttır. Konfor koşullarının oluşturulması, fiziksel çevresel faktörlerin kontrolüne bağlıdır. Fiziksel çevresel faktörlerden biri olan günışığı, öğrencilerin sağlığı ve akademik performansı üzerinde doğrudan etkilidir. Eğitim binalarının günışığı performansı, yerleşme ölçeğinden malzeme ölçeğine kadar farklı ölçeklerdeki tasarım kararlarından doğrudan etkilenmektedir. Bu çalışmanın amacı; eğitim binalarının tasarımına yönelik mevzuatın doğal aydınlatma tasarım kriterleri bakımından irdelenmesidir. Bu doğrultuda; lise binalarının tasarım ve inşasında referans alınan TS 10492, Eğitim Yapıları Asgari Tasarım Standartları Kılavuzu ile Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği doğal aydınlatma tasarım kriterleri bakımından değerlendirilmiştir. Çalışmada; kılavuzun güncellendiği yıl olan 2015 yılı sonrası İstanbul'da inşa edilen lise binaları doğal aydınlatma tasarım kriterleri açısından analiz edilmiştir. Sonuç olarak; günışığının yeterli düzeyde iç mekana alınması için gerekli olan tasarım kararlarının mevcut eğitim binalarının tasarımında ve inşasında göz ardı edildiği, hatalı ve eksik uygulamaların yapıldığı tespit edilmiştir.*

*Anahtar sözcükler: Doğal aydınlatma tasarımı, Eğitim binalarının tasarımı, Mevzuat, MEB.*

## ABSTRACT

*Educational buildings are a building typology that requires a sensitive design approach, as they are the first environments where children participate in the social, cultural and public environment. While durability, safety, aesthetics, and cultural aspects are addressed in the design of educational buildings, it is essential to consider the students and their comfort to effectively fulfill the educational function. Providing comfort conditions depends on the control of physical environmental factors. Daylight performance of educational buildings is directly affected by design decisions at different scales from settlement scale to material scale. The aim of this study is to examine the legislation regarding the design of educational buildings in terms of daylighting criteria. In this content, TS 10492 that is standard about the design of high school, the Design Guide for Educational Buildings, as well as Zoning Regulation for Planned Areas were evaluated in terms of natural lighting design criteria. Also, high school buildings built in İstanbul after 2015 that is the year when the legislation was updated, were also analyzed in respect to natural lighting design criteria. As a result; it has been determined that the design criteria required to allow adequate daylight into the interior are not taken into consideration and faulty and incomplete applications are made in the design and construction of existing educational buildings.*

*Key words: Daylighting, The design of educational building, Legislation, MEB.*

<sup>1</sup> e-posta adresi: ranaer@itu.edu.tr

<sup>2</sup> e-posta adresi: yener@itu.edu.tr

## 1.GİRİŞ

Birleşmiş Milletler Dünya Nüfus Raporu'na göre, kentsel nüfusun 2050 yılına kadar dünya nüfusunun %55'inden %68'ine ulaşacağı, kentsel nüfus artışı ile birlikte inşaat alanının iki katına çıkacağı öngörülmektedir [1]. Günümüzde Türkiye'deki nüfus artışı nedeniyle; her yıl yeni eğitim binaları inşa edilmektedir. Milli Eğitim Bakanlığı 2022-23 eğitim-öğretim yılı örgün eğitime ait öğrenci sayısı ve mevcut derslik sayısına dair veriler incelendiğinde; toplam öğrenci sayısının yaklaşık 20 milyon, derslik sayısının ise 750 bin olduğu tespit edilmiştir [2]. Toplam öğrenci sayısının mevcut nüfusun yaklaşık %24'ünü kapsadığı göz önünde bulundurulduğunda; eğitim binalarının tasarımı dikkatle ele alınması gereken bir konudur.

Eğitim binalarının tasarımında sağlık, güvenlik ile estetik ve kültürel açıdan çeşitli gereklilikler sağlanırken; eğitim işlevini doğru ve etkin bir şekilde gerçekleştirmek için öğrenciler ve onların konforunun göz önünde bulundurulması şarttır. Dünyadaki eğitim binalarının %40'ından fazlasının yetersiz iç ortam kalitesine sahip olduğu bilinmektedir [3]. Literatürdeki çalışmalarda; öğrencilerin en uzun vakit geçirdikleri ortamlar olan dersliklerdeki düşük iç ortam kalitesinin öğrenme kapasitesini ve öğrencilerin refahını etkilediği bildirilmektedir [4, 5, 6]. Aynı zamanda; derslikler, öğrencilerinin içinde buldukları koşullara göre olumlu gelişimlerini destekleyebilirken; uygun olmayan ortamlar öğrenciler üzerinde stres düzeylerinin artması gibi olumsuz etkilere neden olmaktadır [7, 8]. Bu çalışmanın amacı; eğitim binalarının tasarımında referans alınan ulusal standart, yönetmelik ve kılavuzların iç ortam kalitesini etkileyen parametrelerden biri olan doğal aydınlatma tasarım kriterleri bakımından irdelenmesidir. Çalışma kapsamında; tasarıma referans kaynakların doğal aydınlatma tasarım kriterleri bakımından incelenmesinin ardından İstanbul'da bu kaynaklar doğrultusunda inşa edilmiş mevcut lise binaları analiz edilmiştir.

## 2. EĞİTİM BİNALARININ TASARIMI

Eğitim binalarının tasarımında mekânsal niteliğin fizyolojik ve psikolojik etkilerinin olduğu göz önünde bulundurularak; eğitim politikaları çerçevesinde tasarım yürütülmelidir. Türkiye'de eğitim binaları; Milli Eğitim Temel Kanunu'nun 51.maddesinde belirtilen “*Her derece ve türdeki eğitim kurumlarına ait bina ve tesisler, çevrenin ihtiyaçlarına ve uygulanacak programların özelliklerine göre Milli Eğitim Bakanlığınca planlanır ve yaptırılır*” hükmü esas alınarak tasarlanmakta ve inşa edilmektedir [9]. Eğitim binalarının tasarımı için eğitim kademesine göre ulusal standartlar da bulunmaktadır. “TS 12860 Kamu binalarında mekân ihtiyacı - Eğitim binaları - Genel kurallar” başlıklı standart farklı kademedeki eğitim binaları için genel kuralları kapsamaktadır [10]. “TS 9518 İlköğretim okulları - Fiziki yerleşim - Genel kurallar” başlıklı standart ilköğretim okullarına dair fiziki yerleşiminin genel kurallarını içermekte olup “TS 10492 Okullar - Orta Öğretim - Genel Kurallar” başlıklı standart orta öğretim okullarının fizikî yapı, işletmecilik ve çalışanları ile ilgili bilgileri içermektedir [11, 12].

Eğitim binalarının tasarımı için belirtilen Türk standartlarının referans olarak kullanılmasına ek olarak; 90'lı yılların sonunda Milli Eğitim Bakanlığı (MEB) eğitim binalarının mimari projelerinin “tip” olarak üretilmesi kararını almıştır. Günümüzde MEB'e bağlı okul ve kurumların binalarının uygulanacak programların özelliklerine uygun olarak yaptırılması için ilgili Genel Müdürlükler veya Daire Başkanlıkları tarafından önerilen ihtiyaç programları dikkate alınarak tip projeler hazırlanmakta ve uygulanmaktadır. 2015 yılında MEB tarafından yayınlanan “Eğitim Yapıları Asgari Tasarım Standartları Kılavuzu” projelerde uyulması gereken standartları anlatan ve

planlamalara yön veren bir kılavuz olarak hazırlanmıştır. Kılavuzda; yeni yapım, ek bina veya tadilatı planlanan tüm eğitim yapılarının projelendirilme aşamasında MEB tarafından hazırlanan ihtiyaç programlarına, yürürlükte bulunan ilgili bütün yönetmeliklere, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın yürürlükteki diğer mevzuatına ve bu kılavuza uyulması gerektiği belirtilmiştir [13]. Eğitim binalarının tasarımında referans alınan diğer kaynak ise Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından hazırlanan ve 1 Ekim 2017 yılında yürürlüğe giren Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği'dir. Yönetmelik, yapılaşma ve yapı kuralları ile projelendirme ve denetim süreçlerini tanımlamaktadır [14].

### **3. EĞİTİM BİNALARINDA DOĞAL AYDINLATMA TASARIMI**

Eğitim binaları, gün içerisinde aktif olarak kullanılan yapılardır. Dolayısıyla, günışığı kullanımı yapma aydınlatmaya göre daha fazladır. Çalışmalarda, günışığının eğitim binalarında diğer bina tipolojilerine kıyasla daha önemli bir faktör olduğu sıklıkla vurgulanmıştır [15, 16]. Tanner tarafından günışığı miktarındaki eksikliğin öğrenme ve sağlığı olumsuz etkilediği bildirilmiştir [17]. Gün boyunca ışığa maruz kalma süresi ve ışık miktarının sirkadiyen ritmi etkilemesi sonucunda günışığı ile öğrencinin zihinsel işlevi ve performansı arasında doğrudan bir bağlantı olduğunu gösteren araştırmalar da bulunmaktadır [18].

Eğitim binalarında görsel eylemlerin konforlu bir şekilde gerçekleştirilmesi amacıyla temel ışık kaynağı olan günışığının hacim içerisine etkin bir şekilde alınması için diğer bina tipolojilerinde olduğu gibi yer seçimi kararlarından malzeme seçimi kararlarına kadar farklı ölçeklerdeki birçok tasarım kararının günışığı performansı göz önünde bulundurularak ele alınması gerekmektedir. Günışığı performansını etkileyen değişkenler; dış aydınlık düzeyi, dış zemin malzemesi, bina dışı engeller, hacim boyutları, hacim iç yüzey renkleri, pencere boyut, konum ve yerleştiriliş düzeni, pencere camı ve doğrama, pencerenin yönü ve güneş kontrol elemanlarıdır. Bu çalışmanın amacı; eğitim binalarının tasarımı için Türkiye'de referans alınan standart, yönetmelik ve kılavuzlarda günışığı performansını etkileyen bu değişkenlere yönelik kriterlerin belirlenmesidir. Bu kapsamda; İstanbul'daki mevcut lise binaları ele alındığı için "TS 10492 Okullar-Orta öğretim-Genel kurallar" başlıklı standart, "Eğitim Yapıları Asgari Tasarım Standartları Kılavuzu" ve "Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği (PAİY)" incelenmiştir [12, 13, 14]. Doğal aydınlatma tasarımı kriterleri; arazi ve yakın çevreye, bina yönlendirilişine ve hacim organizasyonuna, bina formuna, hacim boyutlarına, hacim iç yüzey renklerine ve tefrişine, pencere boyut, konum ve yerleştiriliş düzenine, pencere camı ve doğrama türüne ve güneş kontrol elemanına ilişkin kriterler olarak alt başlıklar şeklinde ele alınmıştır. Aynı zamanda; mevcut eğitim binalarına ilişkin durumu ortaya koymak için İstanbul ilinde kılavuzun yayınlandığı tarih olan 2015 yılı sonrasında inşa edilen 174 lise binası doğal aydınlatma tasarım kriterleri bakımından analiz edilmiş ve çalışma kapsamında kriterlere ilişkin değerlendirmeler yapılmış ve çeşitli örnekler verilmiştir [19].

#### **3.1. Arazi ve yakın çevreye ilişkin bilgiler**

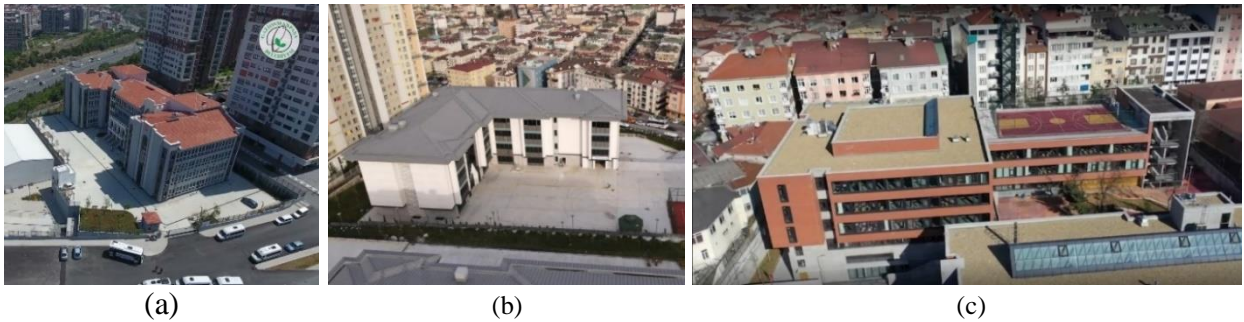
Eğitim binalarının tasarımında, eğitim binasının yeri ve yerin fiziksel özellikleri iç mekanlardaki günışığı miktarını etkileyen tasarım değişkenlerinin başında gelmektedir. Eğitim binasının yakın çevresinde yer alan binalar yükseklik, uzaklık ve konumlarından kaynaklı olarak eğitim binasına günışığı açısından engel oluşturabilir. Engel oluşturan binaların ve dış ortam zemin yüzeyinin malzeme ve rengine bağlı olarak ışık yansıtma katsayıları da hacimlere giren günışığı miktarında

etkili olmaktadır. Bu doğrultuda eğitim binalarının tasarımına ilişkin standart, kılavuz ve yönetmelik incelendiğinde; TS 10492’de “*okul binasının arsaya yerleşiminde, tören alanı ve açık spor alanlarına izin verecek bir yerleşim yapılmalı ve ileride ilâve bina veya tesis yapılabileceği hususu dikkate alınmalıdır. Okul arsasının büyüklüğü öğrenci sayısı dikkate alınarak ilgili mevzuatta öngörülen büyüklükte olmalıdır.*” açıklamaları bulunmaktadır [12]. PAİY’nde eğitim binasının günışığı performansını etkileyen araziye ilişkin ibareler bulunmamakla birlikte komşu parsellerdeki yapılaşmaya ilişkin kriterler bulunmaktadır. Bu kriterler; yol genişliğine bağlı olarak maksimum bina kat sayısını belirlemektedir. Ek olarak yönetmelikte; bahçe mesafeleri de belirtilmektedir: “*Ön bahçe ve yol kenarına rastlayan bahçe mesafeleri ile kamusal alanlara komşu olan bahçe mesafeleri en az 5.00 metredir. Yan ve arka bahçe mesafeleri en az 3.00 metredir.*” Bu mesafeler binalar arasındaki mesafeyi belirlediği ve okul bahçesi boyutlarına referans olduğu için günışığı performansında da etkilidir [14]. EYATSK’nda ise eğitim binalarının arazi ve yakın çevresine ilişkin detaylı açıklamalar bulunmaktadır:

- “*Arazi ve yakın çevresinde mimari çalışmalara yön verecek, manzara, hâkim rüzgâr yönü, güneşlenme ve aydınlanma imkânı, nem gibi hususların belirlenmesi önemlidir.*”
- “*Ülkemizdeki arazi büyüklükleri ve öğrenci popülasyonu düşünüldüğünde, özellikle yerleşimin yoğun olduğu ve yeterli parsel büyüklüğünün bulunmadığı yerleşkelerde ihtiyaç duyulan arazi büyüklüğünün belirlenmesi için öğrenci başına düşen açık - kapalı alan en az 15 m<sup>2</sup>/öğrenci sayısı, olarak hesaplanacaktır. Eğitim binası taban oturma alanının toplam arsa alanına oranı en ideal koşullarda %35 ten büyük olmayacaktır. Bu durumda arsa alanının %65 ‘i; yeşil alan, açık alan ve oyun alanları olarak planlanacaktır. Ancak binaların oturma alanlarına veya arsa büyüklüklerine göre bu oranlar %50 bina oturma alanı, %50 yeşil alan ve diğer alanlar olarak planlanabilecektir.*” [13].

PAİY’ndeki yapılaşmaya ilişkin hükümler ile EYATSK’ndaki “*Arazi ve yakın çevresinde mimari çalışmalara yön verecek, manzara, hâkim rüzgâr yönü, güneşlenme ve aydınlanma imkânı, nem gibi hususların belirlenmesi önemlidir.*” ibaresi eğitim binalarının günışığı performansını doğrudan etkileyecek kriterlerdir [13, 14].

İstanbul’da yürütülen mevcut durum değerlendirmesinde; tasarıma referans kaynaklarda arazi ve yakın çevreye yönelik belirtilen arsa büyüklüğü ile arazi yerleşim kriterlerine (bina yüksekliği, yol genişliği, bahçe mesafesi gibi) uygun olmayan ve dersliklerdeki günışığı performansını etkileyen birçok olumsuz durum tespit edilmiştir. Arazi ve yakın çevre bakımından uygun olmayan durumların belirlendiği Gaziosmanpaşa Süleyman Şah Anadolu Lisesi, TOKİ Maltepe Anadolu Lisesi ve Kağıthane Sadabad Anadolu Lisesi örnek olarak **Şekil 1**’de gösterilmiştir.



**Şekil 1:** (a) Gaziosmanpaşa Süleyman Şah Anadolu Lisesi, (b) TOKİ Maltepe Anadolu Lisesi, (c) Kağıthane Sadabad Anadolu Lisesi [19].

### 3.2. Bina yönlendirilişine ve hacim organizasyonuna ilişkin bilgiler

Günüşiği performansını doğrudan etkileyen yönlendiriliş parametresi; eğitim binalarının tasarımına ilişkin Türkiye’de var olan referans kaynakların büyük çoğunluğunda dikkate alınmamıştır. TS 10492 ve PAİY’nde yönlendirilişle ilişkin herhangi bir bilgi yer almamaktadır [12, 14]. EYATSK’nda ise iklim bölgesine göre bina yönlendirilişine yönelik bilgilere yer verilmiştir. Bu bilgiler; aydınlatmadan ziyade ısıtma ve soğutma gereksinimlerini minimize etmek amacıyla kılavuzda yer almaktadır. Güneş ışınımı ve hakim rüzgar yönü dikkate alınarak oluşturulmuş yönlendirilişle ilişkin kriterler EYATSK’nda 4 iklim bölgesi için ayrı ayrı belirtilmiştir. Bu çalışmada, ılımlı nemli iklim bölgesinde yer alan İstanbul’daki eğitim binaları ele alındığı için **Çizelge 1**’de sadece ılımlı iklim bölgesine ilişkin bilgilere yer verilmiştir [13]. Hacim organizasyonu; eğitim binalarında farklı ihtiyaçlara sahip mekanların bina içerisinde yerleşimi ve yönlendirilişle ilişkin önemli bir konudur ve mekanların ihtiyaçları gözetilerek ele alınmalıdır. PAİY ve TS 10492’de hacim organizasyonuna ilişkin hiçbir bilgi yer almazken [12, 14]; EYATSK’nda hacim organizasyonu hem iklim bölgesine hem de fonksiyonların ihtiyaçlarına göre ele alınmıştır (**Çizelge 2**) [13].

**Çizelge 1:** ılımlı iklim bölgesi için yönlendirilişle ilişkin bilgiler [13].

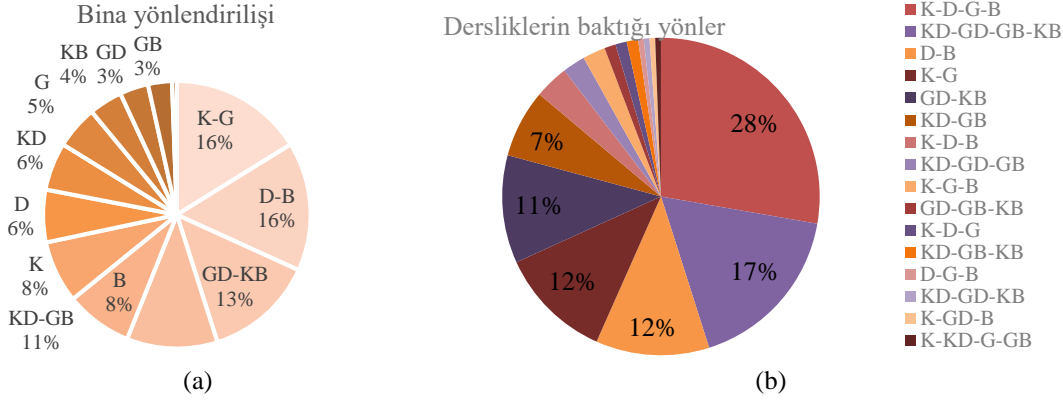
İklim	Yönlendiriliş	Ek açıklamalar
<b>İlmlı iklim</b>	optimum güneşlenme yönü: 17.5° güney-güneydoğu iyi güneşlenme yönü: 15° güney batı ve 45° güneydoğu	Sıcaklığın en düşük olduğu dönemde güneş ışınımını engelleyecek doğal ya da yapay engellerden kaçınılmalı, sıcaklığın en fazla olduğu dönemde ise aşırı ısınmanın önüne geçilmesine yönelik tasarım önlemleri alınmalıdır. Yıl genelinde nemden ve özellikle sıcaklığın az olduğu dönemde soğuk ve rüzgardan korunmak önceliklidir. Güneye yönelmiş yamacın üst kısımları yerleşim için uygun alanlardır. Binalar birbirlerinin güneşlenmelerine olanak tanıyacak ve gereksinim duyulan hava hareketi engellenmeyecek şekilde konumlandırılmalıdır. Binalar; sıcaklığın en az olduğu dönemde, gün içinde en uzun süreyle güneş ışınımından maksimum yararlanmak amacıyla optimum yöne yönlendirilmelidir. Ancak, sıcaklığın maksimum olduğu gölge gereksinimi duyulduğu dönemde, soğuk ve nemli esen hakim rüzgar yönü olan kuzeybatı dikkate alınmalıdır. Genel olarak doğu-batı doğrultusunda, güney ve güneydoğuya yönelme bölge için uygundur.

**Çizelge 2:** EYATSK’nda hacim organizasyonuna ilişkin bilgiler [13].

<b>EYATSK [13]</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Eğitim yapısının doğru yönlendirilmesinin yanında, içerisinde bulunan mahallerin de doğru yönlendirilmesi kullanıcı konforu açısından önem arz etmektedir. Derslik, oyun alanları gibi gün içinde yoğun bir şekilde kullanılan mekânlar iklim bölgesine göre uygun yönde tasarlanmalıdır.</li><li>Projeler lineer aks sistemine göre çözümlenmeli, aks ölçülerinde derslik birimlerinin ölçüleri esas alınacaktır.</li></ul>	Derslik için yönlendirme			
		İklim tipi	İyi	Orta	Kötü
		<b>İlmlı iklim</b>	G, GB, GD	B, D	KB, K, KD

İstanbul’daki mevcut 174 lise binasının yönlendiriliş durumu analiz edildiğinde; yönlendiriliş bakımından en fazla kuzey-güney ve doğu-batı aksında yönlendirilmiş binalar tespit edilmiştir. Güneydoğu-kuzeybatı ile kuzeydoğu-güneybatı aksında da yönlendirilen binaların sayısı göz ardı edilmeyecek orandadır. **Şekil 2a**’da gösterilen bina yönlendirilişine ilişkin mevcut durum sonuçlarının EYATSK’nda belirtilen yönler ile kısmen uyumlu olduğu görülmüştür. Hacim organizasyonuna ilişkin mevcut durum değerlendirmesi için analiz edilen liselerdeki dersliklerin baktıkları yönler tespit edilmiştir. Bu değerlendirmede; bina formundan da kaynaklı olarak (dikdörtgen, U, H, L tipi gibi) derslikler en fazla 4 ana yönde yönlendirilmiştir (%28 K-D-G-B;

%12 D-B; %12 K-G). Kılavuzda ılımlı iklim bölgesi için dersliklerin güney, güneybatı ve güneydoğuya bakması iyi; batı ve doğuya bakması orta; kuzey, kuzeybatı ve kuzeydoğuya bakması kötü yönlenme olarak belirtilmiştir. Şekil 2b'deki grafikte de görüldüğü gibi incelenen mevcut durumda bu kriterlere uygun olmayan derslik yerleşimleri (K, KB, KD) bulunmaktadır.



Şekil 2: (a) Bina yönlendirilişi, (b) Dersliklerin baktığı yönler [19].

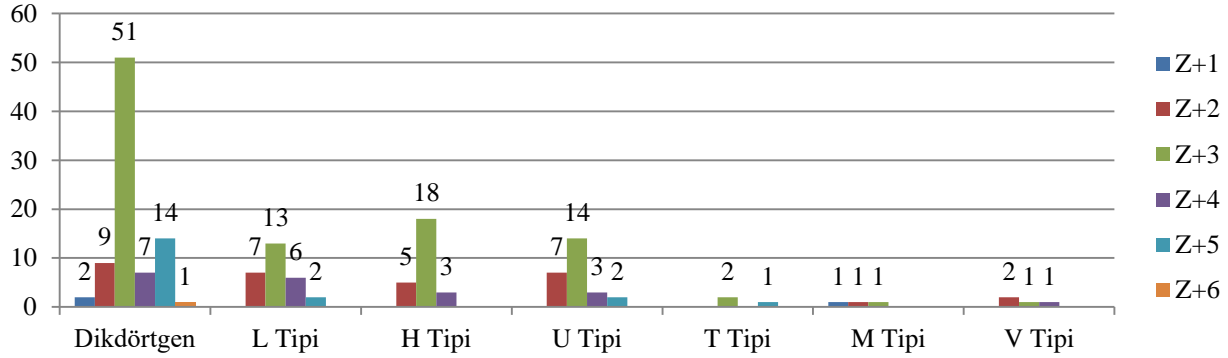
### 3.3. Bina formuna ilişkin bilgiler

Eğitim binalarının formu; kat sayısı, girinti-çıkıntı vb. cephe hareketleri nedeniyle doğal aydınlatma sistemi tasarımını doğrudan etkileyen birçok tasarım parametresini kapsamaktadır. TS 10492'de binanın kat sayısına ilişkin bilgilere yer verilmiş olup "Okul binası en fazla zemin + 3 kat olmalı; arsa şartları ve diğer etkenler sebebiyle, okulun çok katlı olarak inşa edilmesi hâlinde; ilgili mevzuata göre fizikî düzenlemeler yapılmalıdır." şeklinde açıklamalar bulunmaktadır [12]. PAİY'nde bina formuna ilişkin herhangi bir açıklama bulunmamaktadır, yönetmelikte bina formu ile ilişkili kavramlar olan taban alanı katsayısı (TAKS), katlar alanı katsayısı (KAKS) ve emsale ilişkin açıklamalar bulunmaktadır: "Ayrık veya blok nizam olan yerlerde, uygulama imar planında açıkça belirlenmemiş ise TAKS %40'ı geçemez. Ancak, çekme mesafeleri ile KAKS verilip TAKS verilmeyen parsellerde, TAKS %60'ı geçmemek şartıyla, çekme mesafelerine göre uygulama yapılır." Bu katsayı ve değerlerin, parsel özelinde kontrolünün yapılmasının da gerektiği bildirilmiştir [12]. EYATSK'nda bina formu ile ilişkili kat sayısı okul kademesine göre tanımlanmaktadır. Isı kayıplarını en aza indirmek için iklim bölgesine göre bina formu önerilerinde de bulunmaktadır. İlimli nemli iklim bölgesi için öneriler Çizelge 3'te belirtilmiştir [13].

Çizelge 3: EYATSK'nda bina formuna ilişkin bilgiler [13].

<p><b>EYATSK</b> [13]</p>	<p>Eğitim yapıları en fazla ; Anaokulları : Bodrum + Zemin + 1 Kat, İlkokullar : Bodrum + Zemin + 2 Kat (Zorunlu hallerde 3 kat), Ortaokul ve Liseler : Bodrum + Zemin + 3 Kat olarak planlanmalıdır.</p> <p><b>İlimli İklim Bölgesinde;</b> öncelikle ısı kayıplarını azaltılması ve nemden korunma amaçlanmalıdır. Isı kaybı, havalandırma ve güneşlenme oranlarını dengelendiği; ne çok kompakt ne de çok yüzey alanına sahip dikdörtgen gibi geometrik formlar bölge için uygundur. Tek yada iki yapıdan oluşan dikdörtgen moleküler, kısa kenarını ortak kullanan lineer-zincir ve lineer-kırık bina tipleri bölge için uygundur. Manzara, komşuluk ve doğal çevre şartları elverdiği ölçüde, doğal aydınlatma ve havalandırma sağlanması koşuluyla, kuzey yüzeyler en az boşluluk oranına sahip olmalıdır. Güney yönde, güneşe göre optimum yönlendirilmiş düşey yüzeylerle, güneş enerjisinden maksimum oranda yararlanma amaçlanmalıdır. Kuvvetli güney rüzgarlarına karşılık önlemler alınırken, özellikle en sıcak dönemde güney düşey yüzeylerinin çok ısınmasını önlemek amacıyla yüzey üzerinde gölge oluşturulmalıdır.</p>
-------------------------------	--

İstanbul'daki mevcut lise binalarının bina formları incelendiğinde; dikdörtgen, L tipi, U tipi ve H tipi bina formlarının en fazla kullanılan formlar olduğu belirlenmiştir. Bu formlara ait bina sayıları incelendiğinde; dikdörtgen 84, L tipi 28, U tipi 26, H tipi 26 ve diğer plan tiplerinde 10 adet binanın olduğu tespit edilmiştir (**Şekil 3**). Bu formlar(diğer plan formları hariç) kılavuzdaki açıklamalara uygun formlar olarak değerlendirilmiştir. Bu binaların kat sayılarına bakıldığında; EYATSK'nda da belirtildiği gibi zemin+3 katın tüm bina formlarında en fazla inşa edilen kat sayısı olduğu tespit edilmiştir. Kılavuza uygun olmayan kat sayılarına sahip lise binalarının mevcut olduğu ve bu binaların sayılarının göz ardı edilmeyecek düzeyde olduğu da **Şekil 3**'te görülmektedir.



**Şekil 3:** İstanbul'da yer alan lise binalarının plan tiplerine göre kat sayıları [19].

### 3.4. Hacim boyutlarına ilişkin bilgiler

Hacim boyutları, iç mekandaki günışığı performansını etkileyen parametrelerin bir diğeridir. Dersliklerde öğrencilerin konforlu bir şekilde eylemlerini gerçekleştirmeleri hacim boyutları ile doğrudan bağlantılıdır. **Çizelge 4**'te gösterildiği gibi; Türkiye'deki eğitim binalarının tasarımı için referans olan bu kaynaklarda hacim boyutlarına ilişkin bilgiler aydınlatma tasarımından ziyade fiziki gereksinimler ile ilişkilidir. TS 10492 ve EYATSK'nda öğrenci sayısına göre hacim boyutları önerilmiştir [12, 13]. EYATSK kat yüksekliği ve derslik tefrişine ilişkin gereklilikleri de açıklamıştır [13]. PAİY'nde ise sadece iç yüksekliklere ilişkin bir ibare yer almakta; iç yüksekliklerin teknolojik ve mimari ihtiyaçlara göre belirlenmesi gerektiği bildirilmektedir [14].

Bu kriter için mevcut durum değerlendirmesi; tip proje olarak inşa edilmiş bir lisenin dersliğinde örnek bir çalışma olarak yürütülmüştür, bu dersliğin ele alınma nedeni farklı birçok lise binasında aynı boyutlardaki dersliklerin inşa edilmesidir (**Şekil 4**). Yapılan ölçümlerde; dersliğin 620x775 cm boyutlarında, 320 cm yüksekliğinde olduğu belirlenmiştir. Uzun kenar cepheye paralel olacak biçimde derslik alanı 48 m<sup>2</sup>'dir. Örnek derslik 36 öğrenci tarafından kullanılmaktadır. TS 10492 ve EYATSK'nda belirtilen dersliğin 30 öğrenciye göre planlanması kriterine uygun olmayan bir durum gözlemlenmiştir. Ek olarak; EYATSK'nda öğrenci başına min. 1.85 m<sup>2</sup> bırakılması gerekliliğinin de mevcut dersliğin 48 m<sup>2</sup> olması nedeniyle sağlanmadığı tespit edilmiştir.

**Çizelge 4:** Eğitim binalarının tasarımına referans olan kaynaklarda hacim boyutlarına ilişkin bilgiler [12, 13, 14].

<b>TS 10492</b> <b>[12]</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Derslik boyutları öğrenci ve öğretmenlerin rahat hareket edebilecekleri ve en çok 30 öğrenciye eğitim-öğretim verecek şekilde düzenlenmelidir.</li> </ul>
<b>EYATSK</b> <b>[13]</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Eğitim yapılarında kat yükseklikleri:</b> (döşeme üzerinden – döşeme üzerine) Bodrum Kat: h= 4.50m., Zemin Kat : h=4.00m, Normal Katlar : h=4.00m. olarak planlanacaktır.</li> <li>Bütün eğitim yapılarında, derslikler ihtiyaç programında belirtilen büyüklükte ve sayıda tasarlanacaktır. 30 öğrenci kapasitesine göre planlanacak, ihtiyaç duyulması halinde derslik mekanına destek amaçlı, ders araçlarının konulabileceği direk dersliğe açılan depo alanları da tasarlanabilecektir. Depo alanı hariç derslikte kişi başına düşen brüt alan ilkokullarda min. 1.60 m<sup>2</sup>, ortaokul ve liselerde min. 1.85 m<sup>2</sup> alınacaktır.</li> <li>Derslikler dikdörtgen şeklinde ve uzun kenar dış cephe olarak ve farklı oturma planlarına olanak sağlayacak şekilde tasarlanacaktır.</li> </ul>
<b>PAİY</b> <b>[14]</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eğitim, sağlık, sanayi yapıları ile sinema, ... gibi özellik arz eden yapılarda iç yükseklikler, teknolojik ve mimari gereklere göre mimari estetik komisyon kararı ile belirlenir.</li> </ul>



**Şekil 4:** Örnek dersliğe ait fotoğraflar.

### 3.5. Tefriş ve yüzey özelliklerine ilişkin bilgiler

İç mekanlardaki günışığı performansı, günışığının hacim içerisindeki hareketi ile doğrudan bağlantılıdır. Günışığı hacim içerisinde yansıtılır, yutulur veya sadece saydam yüzeyler tarafından geçirilir. Bu nedenle, hacim iç yüzey malzemeleri ve tefrişi günışığının hacim içerisindeki dağılımı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Eğitim binalarının tasarımı için referans olan kaynaklarda tefriş ve iç yüzey malzemelerine ilişkin bilgiler sınırlıdır. TS 10492 ve PAİY’nde herhangi bir bilgi yer almamaktadır [12, 14]. EYATSK’nda ise öneriler bulunmaktadır (Çizelge 5). Bu önerilerde; derslik tasarımının günışığına göre yapılması ve öğrencilerin yerleşiminin soldan ışık alacak şekilde düzenlenmesi gerektiği şeklindedir [13].

Bu kriter için de mevcut durum değerlendirmesi tip proje ile inşa edilmiş lisede yer alan örnek bir derslikte yapılmıştır (Şekil 4). Değerlendirmede; hacim iç yüzey malzemesi için EYATSK’nda belirtilen “İç mekânlarda 1.50 m.ye kadar olan yağlı boya uygulamalarında pastel tonlarda saray pembesi, şampanya, somon veya lila renkleri, 1.50 m. üstü yüzeylerde ise belirtilen renklerin açık tonları uygulanmalıdır.” ibaresine [13] uygun olmayan malzeme kullanımı belirlenmiştir. Yazı tahtasının arkasındaki duvar %13,2 ışık yansıtma katsayısına sahip koyu gri renk boya ile boyanmıştır. Dersliğin diğer yüzeylerinin renk ve ışık yansıtma katsayıları kılavuzdaki kriterlere uygundur (Duvar alt: %62,6 (açık sütlü kahve), duvar üst: %65,1 (krem), zemin: %41,5 (krem), tavan: %85 (beyaz)). Derslik tefrişi değerlendirildiğinde kılavuzda belirtilen gerekliliklerin sağlandığı gözlemlenmiştir.



**Çizelge 5:** EYATSK’nda hacim iç yüzey malzemesi ve tefrişe ilişkin bilgiler [13].

<b>EYATSK [13]</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Derslikler ikişer kişilik sıra düzeninde, etkileşimli tahta ve yazı tahtalı, slayt ve video kullanımlı, internet erişimli, projeksiyon donanımlı, askılı, dolaplı düzenlenecek, öğretmen masası, sandalye ve dolabı, sunum panoları yer alacaktır.</li><li>• Dersliklerde, günışığının, öğrencilerin soldan ışık alacak şekilde sınıf tasarlanacak, tefrişler ve kapı açılımları buna göre düzenlenecektir.</li><li>• Kapı, pencere ve farklı döşeme yükseklikleri canlı ve sıcak renklerle vurgulanmalıdır.</li><li>• Her iç mekanın en fazla tek yüzünde özel renk kullanılmalı ve pembe-mavi ayırımından veya cinsiyet ayırıcı tanımlamalardan kaçınılmalıdır.</li><li>• İç mekânlarda 1.50 m.ye kadar olan yağlı boya uygulamalarında pastel tonlarda saray pembesi, şampanya, somon veya lila renkleri, 1.50 m. üstü yüzeylerde ise belirtilen renklerin açık tonları uygulanmalıdır.</li><li>• Kapı kasaları ve radyatörlerde, 1.50 m. yükseklikteki duvar yağlıboya renginin aynısı kullanılmalıdır. Laminant kapılar, laminant askılık panoları ve duvar bantları, duvarlarda kullanılan renklerle uyumlu tonda ve düz renkli olmalıdır.</li><li>• PVC yer döşemeleri ve süpürgelik renkleri duvar boya ile uyumlu olmalıdır.</li></ul>
--------------------	---

### 3.6. Pencere boyut, konum ve yerleştiriliş düzeni ile cam ve doğrama türüne ilişkin bilgiler

Eğitim binalarının tasarımına referans olan kaynaklarda; pencere tasarımına ilişkin farklı açıklamalar yer almakta olup bu açıklamalar ergonomi, güvenlik ve termal performans ile ilgilidir [12, 13, 14]. Çizelge 6’da eğitim binalarının tasarımında kullanılan referans kaynaklarda pencere boyut, konum ve yerleştiriliş düzenine ilişkin bilgiler belirtilmiştir. EYATSK, pencere tasarımının doğal aydınlatma ile bağlantısına ilişkin açıklamalara yer vermiştir. Dersliklerde pencere alanının, derslik alanına oranı %25 olması gerektiği belirtilmiş, bu oranın bulunduğu iklim bölgesinin özelliklerine bağlı olarak %50 oranına kadar artırılabilceği eklenmiştir. Pencerelerin dış görüş için de önemli olduğu belirtilmiştir [13]. Pencere camı ve doğrama türüne ilişkin bilgilerin yer aldığı Çizelge 7’de de görüldüğü gibi; pencere camı ve doğrama türüne sadece EYATSK’nda değinilmiştir. Kılavuzda pencere camı sadece ısıtma ve soğutma yüklerini minimize etmek için ele alınmış, ışık geçirgenliğine ilişkin herhangi bir kriter belirtilmemiştir [13]. Diğer kaynaklarda pencere camı ve doğrama türüne değinilmemiştir.

**Çizelge 6:** Eğitim binalarının tasarımına referans olan kaynaklarda pencere boyut, konum ve yerleştiriliş düzenine ilişkin bilgiler [12, 13, 14].

<b>TS 10492 [12]</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Derslikteki pencerelerin açılımları, altta açılır kanat, üstte yeterli sayıda vasistas olarak düzenlenmeli; açılır kanat genişliği 70 cm’den fazla olmamalıdır.</li></ul>
<b>EYATSK [13]</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dersliklerde pencere alanının, derslik alanına oranı %25 olacaktır. Bu oran bulunduğu iklim bölgesinin özelliklerine bağlı olarak %50 oranına kadar artırılabilir.</li><li>• Binanın dış yüzeylerinde aydınlanma, havalandırma ve çevreyle özellikle görsel bağ kurulması amacıyla bırakılan pencereler aynı zamanda ısı kayıplarındaki yüksek pay oranları nedeniyle tasarımdaki yerleri ve büyüklükleri açısından iyi analiz edilmelidir.</li><li>• Pencereler buldukları mekanın sonlanmış zemin döşemesinden min. 90cm. parapet üzerinden başlamalı, pencere kolu sonlanmış zemin döşemesinden min 140 cm’ ye konulmalı ve açılan kanatlarda düşmeyi engelleyici detaylarla emniyet tedbirleri alınmalıdır.</li><li>• Açılan tüm kanatlarda kanat açıklığı 80-85 cm.’ yi geçmemeli ve çift eksenli kullanım olanağı da bulunmalıdır. Vasistas yapılacak pencerelerde en az 2 adet yapılmalı, vasistas açılımı üst kotta planlanmalı ve yüksekliği 70 cm. den geniş olmamalıdır.</li><li>• Döşeme üzerinden başlayan doğramaların iç yüzeylerinde cam yüzeylerin önüne min. 90cm. yüksekliğinde tırmanmayı engelleyecek şekilde koruyucu tedbirler alınmalıdır.</li></ul>
<b>PAİY [14]</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğine ve TSE standartlarına uyulması zorunludur.</li></ul>

**Çizelge 7:** EYATSK’nda pencere camı ve doğrama türüne ilişkin bilgiler.

<b>EYATSK [13]</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pencere az bakım gerektiren özellikte, dayanıklı ve uzun ömürlü malzemelerden yapılmalı, ısı yalıtımlı çift cam kullanılmalıdır. Malzeme olarak empenye edilmiş ahşap, ısı yalıtımlı alüminyum, aspest ve zehirli gaz salınımı içermeyen PVC doğramalar ve çift cam sistemleri kullanılmalıdır.</li><li>• Soğuk ve ılımlı iklim bölgelerinde ısı ve su yalıtımı yüksek malzemeler kullanılmalı, güneş ışımasını en fazla geçiren, ışığı yansıtmayan cam türleri tercih edilmelidir.</li><li>• Özellikle güney yönünde cam yüzeylerin önünde ya da arkasında gölge ve engel oluşturacak mimari elemanlar kullanılmamalıdır.</li></ul>
--------------------	--

Mevcut durum değerlendirme çalışmasında ele alınan örnek derslikte; EYATSK’nda belirtilen derslik pencere alanının derslik alanına oranının %25 olması gerekliliğinin sağlanamadığı tespit edilmiştir. **Şekil 4**’te örnek olarak ele alınan dersliğin alanı 48 m<sup>2</sup>, mevcut pencere alanı ise 9,6 m<sup>2</sup>’dir, kılavuzda belirtilen hesaba göre oran %20 olarak hesaplanmıştır. Bu durum, pencere alanlarının kılavuzda belirtilen kriterler göz önünde bulundurulmadan tasarlandığını göstermektedir. Pencere camı ve doğrama türüne ilişkin değerlendirmelerde; örnek dersliğin pencere camının 1,3 W/m<sup>2</sup>K ısı geçirgenliğe, %79 ışık geçirgenliğine sahip low-e çift cam (4+16+4 mm) olduğu ve doğrama olarak PVC doğrama kullanıldığı belirlenmiştir. Tasarım kılavuzuna uygun pencere camı ve doğrama seçimi yapıldığı tespit edilmiştir.

### 3.7. Güneş kontrolüne ilişkin bilgiler

Görsel açıdan iç mekanlarda günışığı kaynaklı rahatsızlıkların önüne geçmek için kullanılan güneş kontrol elemanlarına, eğitim binalarının tasarımında kullanılan referans kaynaklarda çok az değinilmiştir (**Çizelge 8**). TS 10492 standardında görsel eylemlerin daha kritik olduğu görsel öğretim ve resim dersliğinde iç güneş kontrol elemanı kullanımı önerilmiştir [12]. PAİY’nde güneş kontrol elemanı tanımı yapılmış olup maksimum 0.50 m’lik dış güneş kontrol elemanı kullanılabileceğine dair açıklama eklenmiştir [14]. EYATSK’nda ise dersliklerin görsel ve işitsel donanımına sahip olması durumunda doğrudan günışığının kontrol edilmesi için iç güneş kontrol elemanına ihtiyaç olduğu belirtilmiştir [13].

**Çizelge 8:** Eğitim binalarının tasarımında kullanılan referans kaynaklarda güneş kontrol elemanına ilişkin bilgiler [12, 13, 14].

<b>TS 10492 [12]</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Görsel öğretim dersliğinin olması hâlinde, derslikteki pencerelerde koyu renk perde bulunmalıdır.</li><li>• Resim dersliğinin pencerelerinde perde düzenlenmeli, derslikte homojen ışık dağılımı sağlanmalıdır.</li></ul>
<b>EYATSK [13]</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Görsel ve işitsel donanımına sahip sınıf ve dersliklerde doğrudan günışığını kontrol edici perdeleme sistemi yapılmalıdır.</li></ul>
<b>PAİY [14]</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bina cephelerinde, mimari projesinde cephe estetiği ve tasarımı göz önünde bulundurulmak ve detay projeleri verilmek, hafif malzemeden yapılmak, parsel sınırına taşmamak ve kapalı mekân oluşturmamak kaydıyla 0.50 metreye kadar güneş kırıcı yapılabilir.</li></ul>

Bu çalışma kapsamında; tasarıma referans alınan kaynaklarda önerilen iç gölgeleme elemanlarının yanında dersliklerde görsel konforu sağlamak için önemli bir tasarım parametresi olan dış gölgeleme elemanlarının mevcudiyeti de incelenmiştir. İstanbul’da 2015 yılı sonrasında yapılan 174 lise binasının sadece 24 tanesinde dış gölgeleme elemanı olduğu tespit edilmiştir. Gölgeleme elemanlarının cephenin yönü göz önünde bulundurulmadan mimari tasarım kaygısı ile ele alındığı gözlemlenmiştir. Kuzey yönde dahi gölgeleme elemanının kullanıldığı örnekler bulunmaktadır. **Şekil 5**’te gösterilen Sarıgazi Anadolu Lisesi ve Nevzat Ayaz Anadolu Lisesi bu duruma örnektir. Gölgeleme elemanı formuna yönden bağımsız karar verildiğini gösteren bir diğer örnek ise **Şekil 5c**’de gösterilen Bağcılar Anadolu Lisesi’dir. Doğu-batı yönelişine sahip binada yatay gölgeleme

elemanları kullanılmıştır. PAİY’nde belirtilen kriterler bakımından güneş kontrol elemanları değerlendirildiğinde; biçimsel ve boyutsal olarak elemanlar yönetmeliğe uygundur.



Şekil 5: (a) Sarıgazi Anadolu Lisesi, (b) Nevzat Ayaz Anadolu Lisesi, (c) Bağcılar Anadolu Lisesi [19].

#### 4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Çalışmanın sonunda; eğitim binalarının tasarımına ilişkin standart, kılavuz ve yönetmelikte doğal aydınlatma tasarımına ilişkin bilgilerin oldukça kısıtlı ve yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Şekil 6’da eğitim binalarının tasarımında referans alınan kaynaklarda günışığı performansını etkileyen kriterlere yer verilme durumu ifade edilmiştir. Koyu maviden açık maviye doğru değişen renk kullanımı, kaynakta ayrıntılı veya yüzeysel bir açıklama bulunması durumlarının farklılığını göstermektedir. Günışığı performansını etkileyen değişkenlere ilişkin bilgilere en fazla Eğitim Yapıları Asgari Tasarım Standartları Kılavuzu’nda yer verilirken; en az bilginin ortaöğretim kademesindeki binaların inşasına yönelik standart olan TS 10492’de olduğu görülmüştür.

Günışığı performansını etkileyen değişkenler	TS 10492	EYATK	PAİY
Arazi ve yakın çevresine ilişkin bilgiler			
Bina yönlendirilişine ilişkin bilgiler			
Hacim organizasyonuna ilişkin bilgiler			
Bina formuna ilişkin bilgiler			
Hacim boyutlarına ilişkin bilgiler			
Tefriş ve yüzey özelliklerine ilişkin bilgiler			
Pencereye ilişkin bilgiler			
Güneş kontrolüne ilişkin bilgiler			

yüzeysel açıklama  ayrıntılı açıklama

Şekil 6: Eğitim binalarının tasarımında referans alınan kaynaklarda günışığı performansını etkileyen değişkenlerin ele alınma oranları.

Tasarıma referans olan kaynaklardaki yetersiz bilgiler sonucunda mevcut durum değerlendirmesinde İstanbul’da 2015 yılı sonrasında inşa edilen 174 lise binasının doğal aydınlatma tasarımında hatalı uygulamalar ve eksiklikler olduğu tespit edilmiştir. Mevcut durum incelemesi; günışığı performansını etkileyen her tasarım değişkeni için değerlendirme grafikleri ve örnekler üzerinden yürütülmüştür. Bu çalışma ile standart, kılavuz ve yönetmeliğin uygulanma durumu ve lise binalarının doğal aydınlatma tasarımları irdelenmiştir. Yapılan bu değerlendirme; öğrencilerin ve öğretmenlerin göz sağlığının korunması, bilişsel performanslarının artırılması ile psikolojik olarak iyi hissetmelerinin sağlanması için önemli bir faktör olan günışığının göz ardı edilen bir konu olduğunu ortaya koymuştur. Bu nedenle; hem mevcut hem de yeni yapılacak eğitim

binalarında günışığının etkin bir şekilde iç mekana alınması için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Eğitim binalarının tasarımına referans olan standart, kılavuz ve yönetmeliklerde bu doğrultuda ilgili düzenlemeler yapılmalıdır. Tasarım ve inşa süreçlerinde; yerleşme ölçeğinden malzeme ölçeğine kadar farklı ölçeklerde günışığı performansı gözetilmelidir. Günışığının kullanıcı konforu, sağlığı ve performansı üzerindeki olumlu etkilerinin yanında enerji etkin ve sürdürülebilir bir yapma çevre için de önemli bir faktör olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

## KAYNAKLAR

1. Birleşmiş Milletler İnternet Sitesi, erişim tarihi: 01.03.2023.
2. Milli Eğitim Bakanlığı, MEB 2022-2023 Örgün Eğitim İstatistikleri, erişim tarihi: 15.05.2024.
3. M. Golshan, H. Thoen, W. Zeiler, "Dutch sustainable schools towards energy positive," *Journal of Building Engineering*, 19, (2018), pp: 161-171.
4. M. Fakhari, V. Vahabi, R. Fayaz, "A study on the factors simultaneously affecting visual comfort in classrooms: A structural equation modeling approach.," *Energy and Buildings*, 249, (2021), 111232.
5. U. Haverinen-Shaughnessy, R. J. Shaughnessy, "Effects of Classroom Ventilation Rate and Temperature on Students' Test Scores," *PLoS ONE* 10(8), (2015), e0136165.
6. Z. Zhang, "The effect of library indoor environments on occupant satisfaction and performance in Chinese universities using SEMs," *Build. Environ.*, 150, (2019), 322–329.
7. V. Şenyiğit, H.B. Memduhoğlu, "End-user preferences in school design: A qualitative study based on student perspective". *Building and Environment*, 185, (2020), 107294.
8. S. Ahrentzen, G. M. Jue, M. A. Skorpanich, G. W. Evans, "School environments and stress," in G. W. Evans (ed.) *Environmental Stress*, New York: Cambridge University Press (1982).
9. Milli Eğitim Temel Kanunu, 1973.
10. TSE, TS 12860:2002 Kamu binalarında mekan ihtiyacı - Eğitim binaları - Genel kurallar, 2002.
11. TSE, TS 9518:2000 İlköğretim okulları - Fiziki yerleşim - Genel kurallar, 2000.
12. TSE, TS 10492:2005 Okullar - Orta öğretim - Genel kurallar, 2005.
13. Milli Eğitim Bakanlığı İnşaat ve Emlak Dairesi Başkanlığı, *Asgari Tasarım Standartları Kılavuzu* (2015).
14. "Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği". (3 Temmuz 2017). Erişim adresi: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=23722&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>.
15. A. Michael, C. Heracleous, "Assessment of natural lighting performance and visual comfort of educational architecture in Southern Europe: The case of typical educational school premises in Cyprus." *Energy and Buildings*, 140, (2017), 443–457.
16. W. Wu, E. Ng, "A review of the development of daylighting in schools," *Light. Res. Technol.*, 35 (2), (2002), 111–125.
17. C. K. Tanner, "The influence of school architecture on academic achievement", *Journal of Educational Administration*, 38(4), (2002), pp. 309 – 330.
18. V. R. M. Lo Verso, F. Giuliani, F. Caffaro, F. Basile, F. Peron, T. Dalla Mora,, ... V. Costanzo, "Questionnaires and simulations to assess daylighting in Italian university classrooms for IEQ and energy issues," *Energy and Buildings*, 252, (2021), 111433.
19. Milli Eğitim Bakanlığı (MEB), <http://www.meb.gov.tr/uzantılı-okul-siteleri>, erişim tarihi: 03.10.2022-15.04.2024.

## **YERLEŞMELERDE SU ETKİNLİĞİNİN SAĞLANMASI: MANİSA TUNCA ve DERE MAHALLESİ ÖRNEĞİ**

Halime Firdevs Taşkın<sup>1</sup>

Gülten Manioğlu<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> İTÜ Mimarlık Fakültesi, Taşkılla, Taksim, İstanbul, 34437

### **ÖZET**

*İklim değişikliği, yoğun kentleşme ve nüfus artışı gibi faktörler nedeniyle dünya genelinde su kaynaklarının azalması küresel ölçekte çeşitli sorunlara yol açmaktadır. Özellikle iklim değişikliğinin etkisiyle yağış rejimindeki değişiklikler, su kaynaklarının azalmasına ve su döngüsünün bozulmasına neden olmaktadır. Bu durum, suyun etkin ve sürdürülebilir şekilde yönetilmesini, verimli kullanımını ve geri kazanımını zorlaştırmaktadır. Buna ek olarak, yoğun kentleşme ve altyapı yetersizlikleri su kaynaklarının korunması ve yönetimi açısından önemli sorunlar oluşturmaktadır. Bu nedenle, su kaynaklarının korunması için yerleşim ve bina düzenlemelerinin suyun toplanması ve kullanımı açısından gözden geçirilmesi gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda bu çalışmada, az yağış alan fakat şiddetli yağış ve sel felaketleri görülen Manisa ili seçilmiş, ilk aşama olarak belirlenen alan için Rasyonel Yöntem kullanılarak yüzeysel akış miktarı hesaplanmıştır. İkinci aşamada ise hesaplamaları yapılan alanda yağmur suyunun etkin kullanımı ve su korunumu için çeşitli öneriler geliştirilmiş, bu önerilerin uygulanması durumunda elde edilecek faydalar ortaya konmuştur. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlara göre; geçirimli yüzey kaplama malzemelerinin kullanımı ile yüzeysel akış miktarını %36,0, buna ek olarak yağmur suyu hasadı sistemlerinin kullanılması ile %76,0 oranında azaltmanın mümkün olacağı görülmüştür. Böylece geçirimli yüzeyler sayesinde yağmur suyunun yer altına sızma oranı artırılırken çatılardan toplanan yağmur suyu ile günlük su ihtiyacı önemli ölçüde karşılanabilecektir.*

*Anahtar sözcükler: Kentleşme, Su korunumu, Yağmur suyu yönetimi, Yüzeysel akış*

### **ABSTRACT**

*Climate change, rapid urbanization, and population growth have led to a decrease in water resources worldwide, causing various problems on a global scale. Particularly, changes in precipitation patterns due to the climate change lead to a decrease in water resources and disruption of the water cycle. This situation makes it difficult to manage water sustainably, as well as to use it efficiently and recover it. In addition, intense urbanization and infrastructure deficiencies cause significant problems for the conservation and management of water resources. Therefore, settlement and building regulations need to be reviewed in terms of collecting and using water to conserve water resources. In this study, Manisa province, which receives low but intense rainfall, was selected. In the first stage, surface runoff calculations were made using the Rational Method for the selected area. In the second stage, various improvement strategies were proposed for water conservation, and the benefits of implementing these strategies were demonstrated. According to the results obtained in the study, it has been observed that the use of permeable surface covering materials can reduce surface runoff by 36.0%, and additionally, it is possible to reduce it by 76.0% with the use of rainwater harvesting systems. Thus, through the use of permeable surfaces, the rate of rainwater infiltration can be increased, while the harvested rainwater can significantly meet the daily water demand.*

*Key words: Urbanization, Water Conservation, Rainwater Management, Surface Runoff*

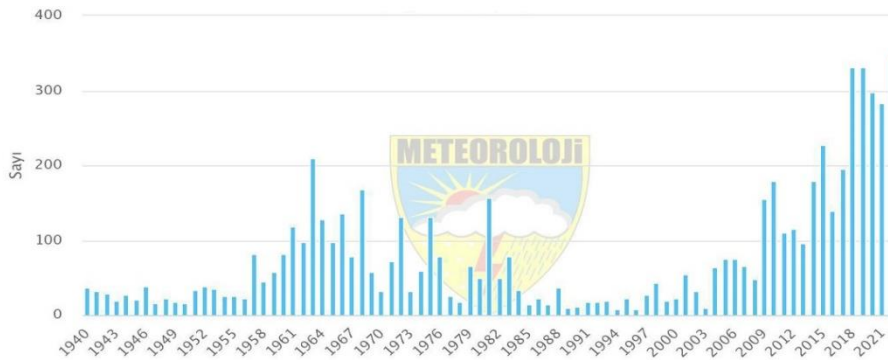
<sup>1</sup> e-posta adresi: taskinha@itu.edu.tr

<sup>2</sup> e-posta adresi: manioglu@itu.edu.tr

## 1.GİRİŞ

Bütün canlıların temel kaynağı olan su kaynaklarının günden güne azalıyor olması küresel ölçekte su krizine yol açmaktadır. Özellikle iklim değişikliği, yoğun kentleşme ve nüfus artışı gibi sebepler suyun etkin ve sürdürülebilir şekilde yönetilmesini, verimli kullanımını ve geri kazanımını gittikçe zorlaştırmaktadır. İklim değişikliği nedeniyle sıcaklık artışının ve bununla birlikte ortaya çıkabilecek yağış rejimindeki değişikliklerin; yağış dağılımı, kar erimesi, toprak nemi, nehir ve yeraltı suyu beslenmesindeki değişimler yoluyla su kaynaklarının varlığını olumsuz olarak etkilediği gözlenmiştir [1]. Ek olarak, iklim değişikliği nedeniyle yağış şiddetini artmaya başlamış ve bu durum sel, taşkın gibi afetlerin sıklaşmasına sebep olmuştur. Ayrıca altyapı sistemlerinin yetersiz kalması sonucu kanalizasyonların taşması ekonomik kayıplara sebep olmakla birlikte su kaynaklarının kalitesinin bozulmasına yol açmaktadır [2]. Birleşmiş Milletler'e bağlı olarak faaliyet gösteren Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından kurulan 'Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), 2022 yılında altıncı değerlendirme raporunu yayınlamış ve iklim değişikliği etkilerinin artarak sürmekte olduğunu vurgulamıştır [3]. İklim değişikliğinin yanı sıra, yoğun kentleşmenin bir sonucu olarak bina ve yerleşmelerden kaynaklanan sert yüzeylerin artıp yeşil alanların azalması da su kaynakları için ciddi tehlikeler oluşturmaktadır [4, 5]. Geçirimsiz yüzeyler sebebiyle yüzeysel akış miktarının artması ve böylece toprak altına sızmadan kirlenen yağmur suyunun kanalizasyon sistemleri ile kaybedilmesi su döngüsünü kesintiye uğratan en önemli sebeplerden biri haline gelmiştir.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hazırlanan Türkiye'nin İklim Değişikliğine Uyum Stratejisi ve Eylem Planı (2024-2030) Raporu'na göre Türkiye'nin mevcut durumda ortalama yıllık akışa geçen su miktarının 185,37 milyar m<sup>3</sup> olduğu ve bu miktarın ortalama yağış hacminin %41,2'sine karşılık geldiği belirtilmiştir. Bununla birlikte 2022 Yılı Meteorolojik Afetler Değerlendirmesi Raporu'na göre ülkemizde 2022 yılı içinde en fazla meydana gelen meteorolojik karakterli afetin şiddetli yağış/sel olaylarının olduğu ve yıllar geçtikçe bu olayların yaşanma sıklığının arttığı vurgulanmıştır (**Şekil 1**). Aynı şekilde bu afetlerin 2022 yılında en fazla yaz aylarında görüldüğü, Haziran ayında %40,8, Ağustos ayında ise %20,8 oranında olduğu rapor edilmiştir [6].



Şekil 1: Türkiye'de 1940-2022 Yılları Arasında Meydana Gelen Sel Afetlerinin Yıllara Göre Dağılımı

Buradan anlaşılmaktadır ki, iklim değişikliğinin etkilerini azaltmaya yönelik politikaların yanı sıra kentlerin altyapı ve üstyapı olmak üzere planlama süreçlerinin de bu değişikliklere uygun olarak yeniden düzenlenmesi su korunumu açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle bu çalışmada, yerleşme ve bina ölçeğinde yüzeysel akışa neden olan kaplama malzemesi, alan kullanım oranı gibi

parametreler incelenmiş, yüzeysel akışın azaltılmasına yönelik iyileştirme önerileri sunulmuştur. Ayrıca, mimari ölçekte su korunumu açısından faydalı olabilecek yağmur suyu yönetimi yaklaşımlarının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Böylece, yüzeysel akış miktarının azaltılması çalışmalarının planlamada yerleşme ölçeğinde de ele alınması mimari çalışmaların da bu alana katkıda bulunmasını sağlayacaktır.

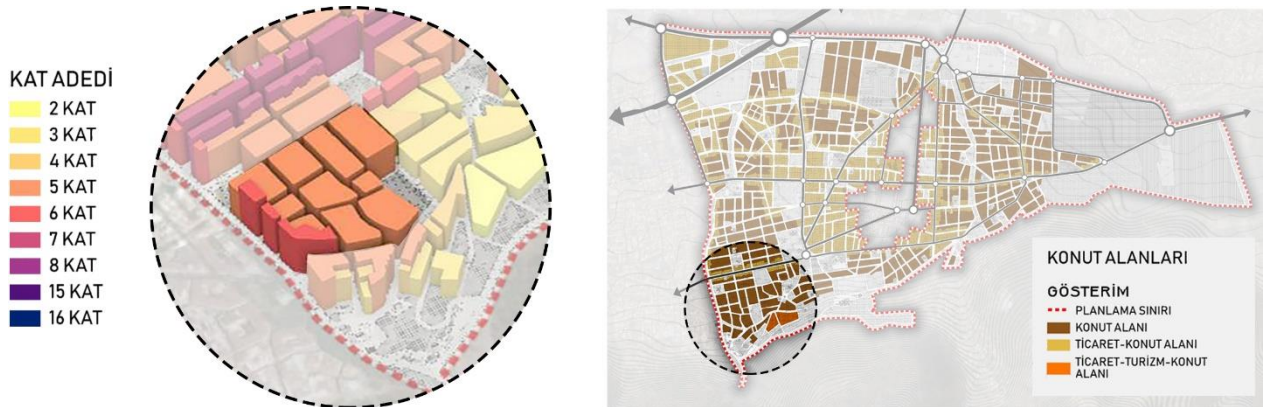
## 2. YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında Manisa ilinde seçilen bir bölge için alandaki olağan yüzeysel akış miktarı hesaplanmış, mimari ölçekte yapılabilecek iyileştirmelerin yüzeysel akış miktarını ne derecede azaltılabileceği incelenmiştir. Ele alınan çalışmaya ilişkin adımlar aşağıda detaylandırılmıştır.

### 2.1. Arazinin Belirlenmesi

Ele alınan çalışma Türkiye'nin Manisa ili için gerçekleştirilmiştir. T.C. Çevre, Şehircilik Ve İklim Değişikliği Bakanlığı - Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne bağlı olan Hidro Meteoroloji Şube Müdürlüğü tarafından hazırlanan 2022 Yılı Yağış Değerlendirmesi Raporu'na göre; 2022 yılında en az yağışlı gün gerçekleşen iller İzmir ve Manisa illeri olmuş, toplamda en az yağış alan il ise 399.9 mm ile Manisa ili olmuştur [7]. Aynı şekilde T.C. Çevre, Şehircilik Ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından hazırlanan 2022 Yılı Meteorolojik Afetler Değerlendirmesi Raporu'na göre Standart Yağış İndeksi (Standardized Precipitation Index - SPI) metodu ile yapılan kuraklık analizi sonuçlarına göre, 2022 yılında Manisa ilinde olağanüstü şiddette meteorolojik kuraklık etkili olmuştur [6]. Yağış oranlarındaki azalmanın yanı sıra, Manisa'nın 2022 yılı içerisinde en fazla şiddetli yağış/sel afeti alan şehirlerden biri olduğu da aynı raporda vurgulanmıştır. Bu nedenle, çalışmanın odaklandığı nokta olan az yağış/çok sel alan bölgelerde yağışın en etkin şekilde nasıl değerlendirileceğinin araştırılması, Manisa ilinin seçilme sebeplerinden biri olmuştur.

Manisa ilinde çalışmanın gerçekleştirileceği alanın seçiminde Manisa Büyükşehir Belediyesi'nin hazırlamış olduğu Şehzadeler İlçesi Meskûn Alan Güney Etabı 1/1.000 Ölçekli Uygulama İmar Planı Açıklama Raporu'ndan yararlanılmıştır [8]. Bu rapora göre Tunca ve Dere Mahallesi'nde seçilen alan, bitişik nizam 5-6 katlı konut yapılarından oluşmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2: Çalışma kapsamında seçilen alanın yapılaşma detayları (Şehzadeler İlçesi Meskûn Alan Güney Etabı 1/1.000 Ölçekli Uygulama İmar Planı Açıklama Raporu'ndaki görsellerden uyarlanmıştır)

Alanın dar ve sıkışık yerleşme tipolojisine sahip olması, alandaki sert yüzey malzemelerinin yoğun kullanımı çalışma kapsamında bu arazinin seçilmesinde etkili olmuştur (Şekil 3).



Şekil 3: Seçilen alanın sokak ve cadde görüntüleri (Tunca ve Dere Mahallesi)

## 2.2. Hesaplamaya İlişkin Değişkenlerin Belirlenmesi

Hesaplamaya ilişkin değişkenlerin belirlenmesi aşamasında öncelikle, çalışmanın amacı ve kapsamı göz önüne alınarak, yüzeysel akış miktarının hesaplanacağı en uygun hesaplama yöntemi seçilmelidir. Sonrasında ise hesaplama yönteminin uygulanabilmesi için gerekli olan dış ortama ait iklim verilerinin ve yerleşmedeki yüzeylere ait yüzeysel akış katsayılarının belirlenmesi gerekmektedir. Hesaplama adımına ilişkin bu değişkenler ve değişkenlere ilişkin yapılan kabuller aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

### 2.2.1. Hesaplama Yönteminin Belirlenmesi

Toplam yüzeysel akış miktarını, akışın pik debisini ve çeşitli koşullar altında arazi yüzeylerinde meydana gelen akış hidrografını tahmin etmek için birçok yöntem geliştirilmiştir. Farklı ölçek ve amaçlar doğrultusunda kullanılabilen çok sayıda yöntem içerisinde çalışmaya uygun yöntemin belirlenmesi için yapılacak çalışmanın içeriğini doğru analiz etmek gerekmektedir [9]. Bu çalışma kapsamında seçilen arazinin yaklaşık 50.000 m<sup>2</sup>'lik küçük bir alan olduğu ve yapılan çalışmanın mimari ölçekte gerçekleştirileceği göz önüne alındığında en uygun hesaplama yönteminin Kuichling'in geliştirdiği 'Rasyonel Yöntem' olduğu görülmektedir [10, 11, 12]. Rasyonel Yöntem; yerleşmelerde bulunan otopark, çatı alanları gibi nispeten küçük drenaj alanlarında oluşan yüzeysel akış miktarının tahmin edilmesinde diğer yöntemlere kıyasla daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Aynı zamanda, yüzeysel akış miktarının hızlı ve etkili bir şekilde tahmin edilmesine olanak sağlaması ve pratik bir hesaplama yöntemi olması sebebiyle uzmanlık alanı hidroloji olmayan meslek gruplarına da kolaylık sağlamaktadır. Yöntemin uygulanabilmesi için kullanılan temel denklem aşağıdaki gibidir:

$$Q = \frac{c.i.a}{360} \quad (1)$$

(1) eşitliğinde, Q yüzeysel akış miktarını (m<sup>3</sup>/sn) ifade ederken, c yüzeysel akış katsayısını, i yağış şiddetini (mm/saat), a ise havza alanını (ha) ifade etmektedir.

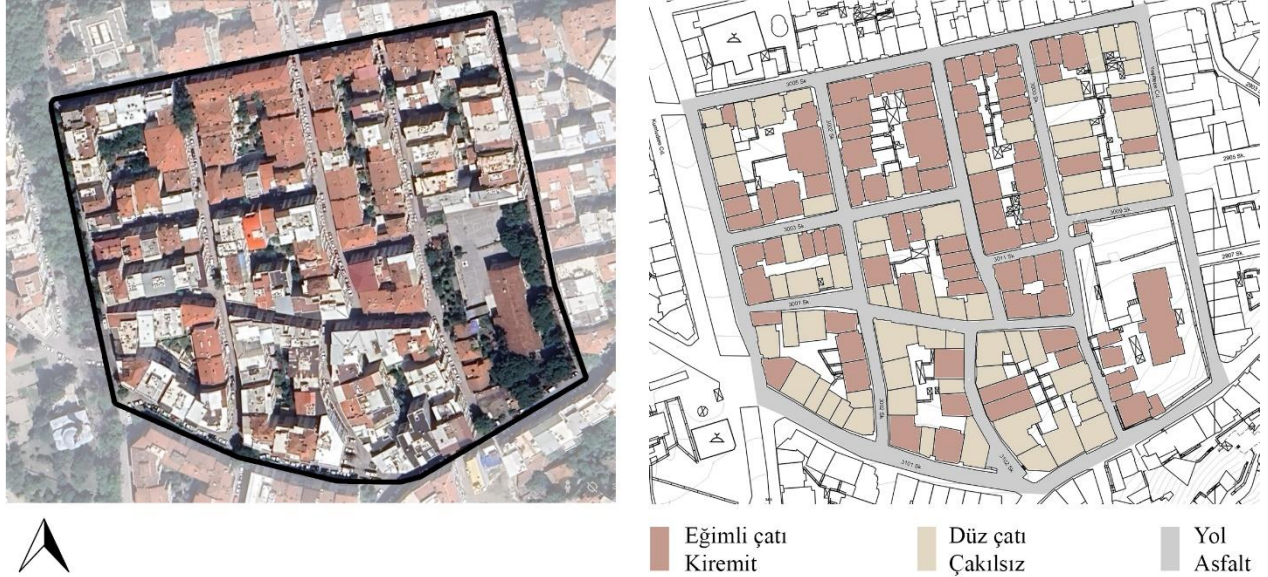


## 2.2.2. Dış Ortama Ait İklim Verilerinin Belirlenmesi

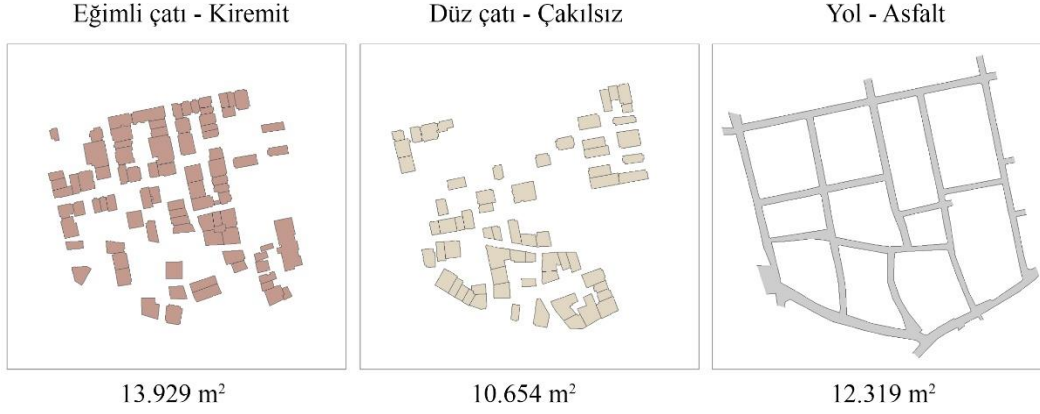
Manisa ilinde gerçekleştirilecek çalışma için yüzeysel akış miktarlarının hesaplanması aşamasında gerekli olan yağış değerleri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne bağlı olan Hidro Meteoroloji Şube Müdürlüğü tarafından hazırlanan 'Manisa Meteoroloji İstasyonu'nda Standart Zamanlarda Gözlenen En Büyük Yağış Değerleri' tablosundan alınmıştır. 1958-2020 yılları arasında Manisa Meteoroloji İstasyonu'nda 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık tekerrür aralıkları ve standart zamanlar (5, 10, 15, 30 dk, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 12, 18 ve 24 saat) için ölçülen maksimum yağış değerleri bu tablodan okunarak, yüzeysel akış miktarı hesaplamaları için gerekli olan yağış şiddeti hesaplanmıştır. Bu çalışma kapsamında yapılacak hesaplamalarda seçilecek yağış şiddeti olarak; büyük şehir merkezleri için tavsiye edilen tekerrür aralığı 5 yıl, normal (düz veya dik olmayan) kentsel alanlar için tavsiye edilen yağış süresi 10 dakika olduğu için 5 yıl tekerrürlü 10 dakikalık yağışlar esas alınmıştır [13, 14].

## 2.2.3. Yerleşmedeki Kaplama Malzemeleri için Yüzeysel Akış Katsayılarının Belirlenmesi

5 yıl tekerrürlü 10 dakikalık bir yağış esnasında seçilen alanda meydana gelebilecek yüzeysel akış miktarının hesaplanabilmesi için alandaki kaplama malzemelerinin ve bu malzemelere ilişkin yüzeysel akış katsayılarının bilinmesi gerekmektedir. Yüzeysel akış katsayısı zeminin geçirim oranına bağlı olarak 0 ile 1 arasında değişen boyutsuz bir sayıdır. Tamamıyla geçirimsiz bir yüzeye düşen yağışın tümü yüzeysel akışa karışacağından, bu durumda yüzeysel akış katsayısı 1 olarak kabul edilir. Yüzeyin geçirim oranı arttıkça da bu değer 0'a yaklaşır [15]. Alandaki yüzey kaplama malzemelerinin tanımlanmasında uydu görüntüleri ve 1/1000 ölçekli hâlihazır haritalardan yararlanılmış (Şekil 4) ve böylece alanlara ilişkin boyutlar hesaplanmıştır (Şekil 5). Ayrıca kaplama malzemelerine ilişkin yüzeysel akış katsayıları literatür dikkate alınarak belirlenmiştir (Çizelge 1).



Şekil 4: Yüzeysel akış miktarı hesaplanacak alandaki kaplama malzemeleri



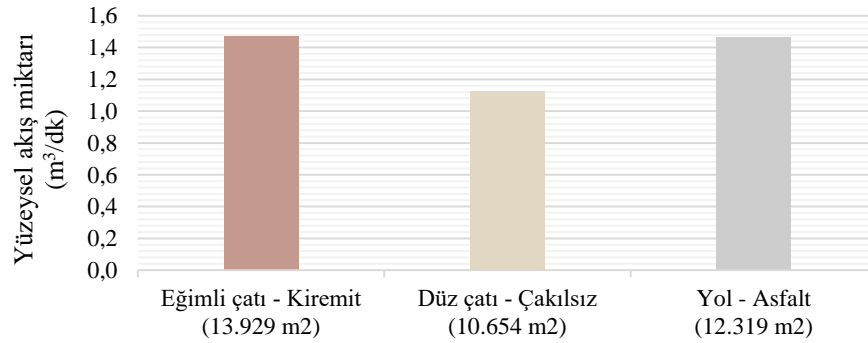
Şekil 5: Yüzeysel akış miktarı hesaplanacak alanlar için boyut bilgisi

Çizelge 1: Çeşitli kaplama malzemeleri için yüzeysel akış katsayısı [10, 16]

Yüzey Tipi	Yüzeysel Akış Katsayısı
Asfalt yol	0,85 – 0,90
Su Sızdırmaz çatılar	0,70 – 0,95
Eğimli çatı – Pürüzlü malzeme (kiremit vb.)	0,80
Düz çatı – Çakılsız	0,80

### 2.3. Hesaplamaların Yapılması ve Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Kanalizasyon sistemlerinin olmadığı varsayılarak yapılan hesaplamalar sonucu; dakikada, eğimli kiremit çatı kaynaklı 1,47 m<sup>3</sup>/dk, düz çakılsız çatı kaynaklı 1,12 m<sup>3</sup>/dk, asfalt yol kaynaklı 1,46 m<sup>3</sup>/dk olmak üzere toplamda 4,05 m<sup>3</sup>/dk yüzeysel akış oluşacağı görülmektedir (Şekil 6). Hesaplamaların 5 yıl tekerrürlü 10 dakikalık yağışlar esas alınarak yapıldığı düşünüldüğünde, bu karakterdeki bir yağış esnasında alanda 40,5 m<sup>3</sup> yağmur suyunun yüzeysel akışa karışacağı ve kanalizasyon sistemleri ile kaybedileceği söylenebilir. Yalnızca 10 dakika süren bir yağışta oluşan bu miktar, kişi başına günlük su tüketiminin 100 litre kabul edildiği TSE1258'e göre 405 kişinin bir günlük su ihtiyacını karşılayabilmektedir [17].



Şekil 6: Alandaki yüzey kaplama malzemelerine göre oluşabilecek yüzeysel akış miktarları

## 2.4. Yüzeysel Akışı Miktarının Azaltılabilmesi İçin Öneriler Geliştirilmesi

Mevcut yerleşmelerde; yeşil alan oranının ve geçirimli malzeme kullanımının artırılması ile yağmur suyunun yer altına sızdırılması, kaybedilecek yağmur suyunun yağmursuyu hasadı ile toplanarak kullanıma sunulması gibi mimari ölçekte yapılacak değişiklikler yüzeysel akış miktarının azaltılmasında etkili stratejilerdendir. Manisa'daki diğer yerleşim bölgeleri incelendiğinde, Peker Mahallesi ve Şehitler Mahallesi'nde bu doğrultuda bazı stratejilerin kullanılmış olduğu ve böylece olası risklerin önüne geçilebileceği görülmektedir (Şekil 7, 8). Kaldırım alanlarında sık ağaçlandırmanın yapılması ve yeşil alan oranının artırılması, yollarda geçirimli kaplama malzemelerinin kullanılması, bina aralıklarının geniş tutulması buna örnek gösterilebilir.



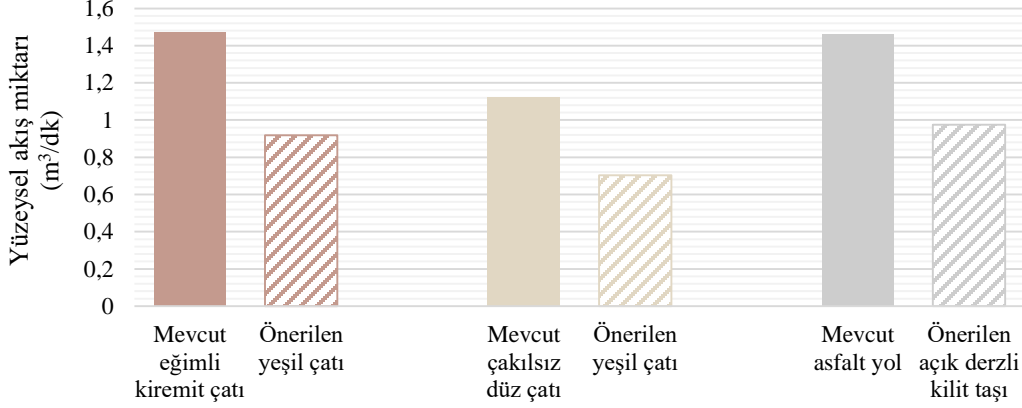
Şekil 7: Manisa Peker Mahallesi'nde bir yerleşme örneği



Şekil 8: Manisa Şehitler Mahallesi'nde bir yerleşme örneği

Manisa'daki farklı yerleşim alanları incelenmiş ve bu çalışmada mevcut yerleşmedeki yüzeysel akış miktarının azaltılabilmesi için çeşitli öneriler geliştirilmiştir. İlk alternatif olarak; mevcut yüzey kaplama malzemelerin değiştirilmesi önerilmiş, bu kapsamda çatılar için yeşil çatı sistemlerinin uygulanacağı, asfalt yol yüzeyi için ise daha geçirimli bir malzeme kullanılacağı varsayılmıştır. Çatıda uygulanacak yeşil çatı sistemi için ince toprak ve az yoğun bitki kullanılan ekstensif yeşil çatı seçilmiş, yüzeysel akış katsayısı 0,5 olarak ele alınmıştır [16]. Geçirimli kaldırım malzemesi olarak ise Manisa'da örnekleri görülen açık derzli kilit taşı seçilmiş, yüzeysel

akış katsayısı 0,6 olarak ele alınmıştır [9, 18]. Hesaplamaların tekrarlanması sonucunda, 5 yıl tekerrürlü 10 dakikalık bir yağış esnasında; yeşil çatı kaynaklı toplam 1,62 m<sup>3</sup>/dk, açık derzli kilit taşı kullanılan yol kaynaklı 0,97 m<sup>3</sup>/dk olmak üzere toplamda 2,59 m<sup>3</sup>/dk yüzeysel akış oluşacağı görülmektedir (Şekil 9).



Şekil 9: Mevcut yerleşmede yüzeysel akış miktarının azaltılabilmesi için yapılan öneriler

Geçirimli malzemeler ile yapılan hesaplamalar sonucunda çatı kaynaklı (eğimli çatı + düz çatı) yüzeysel akış miktarı %37,5 ve yol kaynaklı yüzeysel akış miktarı %33,6 oranında azaltılabilmektedir.

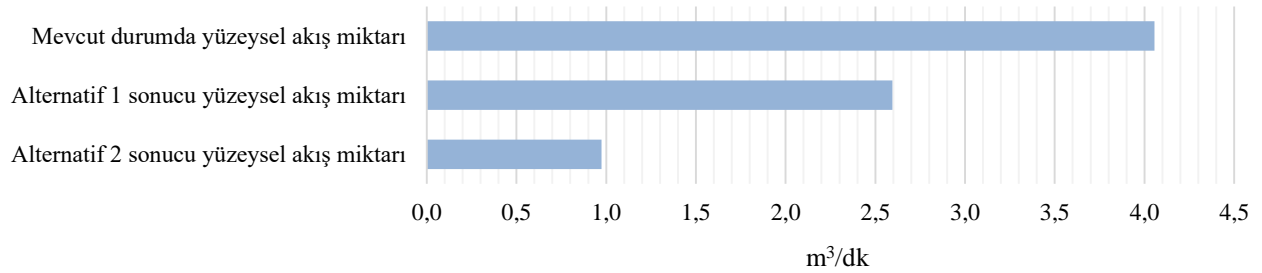
İkinci alternatif olarak; asfalt yol yüzeyi için yine açık derzli kilit taşının kullanılması fakat çatı malzemelerinin değiştirilmeden binalara yağmur suyu hasadı sistemlerinin eklenmesi önerilmiştir. Böylece çatı kaynaklı oluşan yüzeysel akış miktarı sıfırlanarak çatılardan toplanan yağmur suyu kullanıma sunulacak, yalnızca yol kaynaklı yüzeysel akış meydana gelecektir. Ayrıca yol için kullanılacak yüzey kaplama malzemesi de geçirimli bir malzeme olacağından yüzeysel akış miktarının önemli ölçüde azaltılması sağlanacaktır.

Yağmursuyu hasadı sistemleri ile toplanacak yağmur suyu miktarı için çeşitli yöntemler kullanılabilen ve farklı zaman dilimleri için hesaplamalar yapılabilmektedir. Yıllık yapılan hesaplamalar için m<sup>2</sup>'ye düşen yağış miktarı (mm), yağmur suyu toplama alanı, kazanç katsayısı ve hidrolik filtre etkinliğinin bilinmesi gerekmektedir [19]. Rasyonel yöntem kullanılarak yapılan kısa süreli hesaplamalarda ise belirli bir yağış karakteristiğinde toplanabilecek potansiyel yağmur suyu miktarı belirlenebilmekte ancak yağmur suyu hasadı sistemlerinde kayba uğrayacak miktar hesaba katılmamaktadır [20]. Bu çalışma kapsamında 5 yıl tekerrürlü 10 dakikalık yağış karakteristiği üzerinden hesaplamalar yapıldığı için toplanabilecek maksimum yağmur suyu miktarı da 'Rasyonel Yöntem' ile hesaplanmıştır.

Bu doğrultuda hesaplamaların tekrar edilmesi sonucu, 5 yıl tekerrürlü 10 dakikalık bir yağış esnasında toplanabilecek yağmur suyu miktarının 2,59 m<sup>3</sup>/dk olacağı ve yüzeysel akışa karışan yağmur suyunun 0,97 m<sup>3</sup>/dk olacağı görülmektedir. Alana yağmur suyu hasadı sistemlerinin eklenmesi ile, çalışma kapsamında belirlenmiş 10 dakikalık bir yağış sonunda çatı alanlarından (24.583 m<sup>2</sup>) toplanabilecek yağmur suyu miktarının 25.900 litre olduğu, başka bir deyişle 5 yıl tekerrürlü 10 dakikalık yağış karakteristiği esas alındığında m<sup>2</sup> başına 1,05 litre yağmur suyunun hasat edilebileceği görülmektedir. Yağmur suyu hasadı sistemi olmadığı durumda kanalizasyon

sistemleri ile uzaklaştırılacak bu miktarın günlük su kullanımını önemli ölçüde azaltacağı söylenebilir.

Mevcut durum ve önerilen alternatifler sonucu meydana gelebilecek toplam yüzeysel akış miktarları **Şekil 10**'da karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; geçirimli yüzey kaplama malzemelerinin kullanımı (Alternatif 1) ile yüzeysel akış miktarının %36,0, buna ek olarak yağmur suyu hasadı sistemlerinin kullanılması ile (Alternatif 2) %76,0 oranında azaltılabileceği görülmüştür. Çalışma kapsamında yapılan bu önerilerin mevcut yerleşmelere uygulanmasında strüktürel sorunlar yaşanabileceği de göz önünde bulundurulduğunda bu kararların ön tasarım aşamasında alınması oldukça önemlidir.



**Şekil 10:** Mevcut durumda ve yapılan öneriler sonucu 5 yıl tekerrürlü 10 dakikalık bir yağış esnasında meydana gelebilecek toplam yüzeysel akış miktarı

### 3. SONUÇ

Manisa'nın iklim koşulları ve yağış eğilimleri, suyun etkin bir şekilde kullanılmasını ve yönetilmesini gerektirmektedir. Bu nedenle, yerel yönetimlerin ve mimarların, su tasarrufunu teşvik eden stratejileri ve uygulamaları benimsemesi gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda yapılan çalışmada, Manisa'nın artan yağış şiddetine karşın düşük yağış miktarıyla başa çıkma ihtiyacı vurgulanmış ve buna yönelik çözümler tartışılmıştır. Sık ve dar yerleşme tipolojisinin görüldüğü bir alanda yapılan bu çalışmada, öncelikle yerleşmede oluşabilecek yüzeysel akış miktarı hesaplanmış, sonrasında Manisa'daki çeşitli yerleşme örnekleri incelenerek çalışmanın yapıldığı alan için yüzeysel akış miktarını azaltabilecek öneriler geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, geçirimsiz yüzey kaplama malzemelerinin geçirimli malzemeler ile değiştirilmesi sonucu yer altına sızan yağmur suyu miktarının artacağı ve böylece alanda oluşabilecek yüzeysel akış miktarının azaltılabileceği görülmüştür. Ek olarak, çatılara düşen yağmur suyunun toplanması ile yerleşmede oluşabilecek yüzeysel akış miktarının azalacağı ve toplanan yağmur suyu sayesinde yerleşmedeki kullanıcıların günlük su ihtiyacının da önemli bir bölümünün karşılanabileceği görülmüştür. Buna karşın, mevcut yerleşmelerde yapılacak iyileştirmeler, yeni tasarlanacak yerleşmelere kıyasla daha maliyetli olacağından ve strüktürel sorunlara sebep olabileceğinden yerleşmelerde yüzeysel akışı azaltmaya yönelik kararların ön tasarım aşamasında alınması gerekmektedir. Böylece, yerleşmelerde yüzeysel akış kaynaklı meydana gelen sel, taşkın gibi afetlerin şiddet ve sıklığı azaltılırken, yeraltı su kaynaklarının da beslenmesi sağlanacaktır.

Sonuç olarak, Manisa ilinde yağmur suyunun sürdürülebilirliğini sağlamak için alınan mimari kararlar, dikkatli bir şekilde planlanmalı ve uygulanmalıdır. Bu kararlar, Manisa ilinin gelecekteki su ihtiyaçlarını karşılamak ve çevresel sürdürülebilirliği sağlamak için önemli bir rol oynayacaktır.

## KAYNAKLAR

1. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, “İklim Değişikliğine Uyum Stratejisi ve Eylem Planı (2024-2030)”, (2023).
2. K. Hellman, J. Wagner, D. Lass, K. Korfmacher, B. G. Hanna, “Estimating the Economic Impact of Stormwater Runoff in the Allen Creek Watershed”, *Ecological Economics*, 145, (2018), pp: 420-429.
3. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), “Summary for Policymakers. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”, Cambridge University Press, (2022).
4. H. F. Taşkın, “Su Korunumu Açısından Yerleşme Tasarımında Yüzeysel Akış Miktarının Değerlendirilmesi”, İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (2022).
5. J. Wang, Q. Meng, Y. Zou, Q. Qi, K. Tan, M. Santamouris, B.He, “Performance synergism of pervious pavement on stormwater management and urban heat island mitigation: A review of its benefits, key parameters, and co-benefits approach”, *Water Research*, 221, (2022), pp: 118755.
6. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, “2022 Yılı Meteorolojik Afetler Değerlendirmesi Raporu”, (2023).
7. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü Hidrometeoroloji Şube Müdürlüğü, “2022 Yılı Yağış Değerlendirmesi”, (2023).
8. Manisa Büyükşehir Belediyesi, “Şehzadeler İlçesi Meskûn Alan Güney Etabı 1/1.000 Ölçekli Uygulama İmar Planı Açıklama Raporu”, (2022).
9. T. H. Cahill, “Low Impact Development and Sustainable Stormwater Management (2012 Edition)”, Canada: John Wiley & Sons, (1939).
10. E. Kuichling, “The relation between the rainfall and the discharge of sewers in populous districts”, *Transactions, American Society of Civil Engineers*, 20, (1889), pp: 1-56.
11. N. Gülbahar, “A Comparison Study of Some Flood Estimation Methods in terms of Design of Water Structures”, *International Journal of Engineering Technologies*, 2(1), (2016), pp: 8-13.
12. W. M. D. Wijesinghe, N. T. S. Wijesekera, “Comparison of Rational Formula Alternatives for Streamflow Generation for Small Ungauged Catchments”, *Engineer: Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka*, 44(4), (2016), pp: 29-36.
13. B. Sümer, “Su Temini ve Çevre Sağlığı”, İstanbul: İ.T.Ü Sakarya Mühendislik Fakültesi, (1992).
14. D. Demir, “Konvansiyonel Yağmursuyu Yönetim Sistemleri ile Sürdürülebilir Yağmursuyu Yönetim Sistemlerinin Karşılaştırılması: İtü Ayazağa Yerleşkesi Örneği”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (2012).
15. V. R. T. Picado, L. C. B. Chavarria, “Methodology for the Calculation of the Runoff Coefficient with the Arrangement Tirado”, *Open Journal of Applied Sciences*, 13(5), (2023), pp: 659–671.
16. TS EN 16491-1, “Yerinde İçilebilir Olmayan Su Sistemleri - Bölüm 1: Yağmur Suyu Kullanımı İçin Sistemler”, Ankara, Türkiye: Türk Standardları Enstitüsü, (2018).
17. TS 1258, “Temiz su tesisatı hesap kuralları”, Ankara, Türkiye: Türk Standardları Enstitüsü, (1983).
18. City of Pickering, “Stormwater Management Design Guidelines”, (2019)
19. DIN 1989-1, “Rainwater harvesting systems - Part 1: Planning, installation, operation and maintenance”, (2002).
20. O. Soydan, A. Benliay, “Rainwater Harvesting for Urban Ecology: Mustafa Uysal Park Case”, *Toprak Su Dergisi*, 5(1), (2016), pp: 47-54.

# **BİBLİYOMETRİK ANALİZ İLE TARİHİ YAPILARDA ENERJİ ETKİN İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARININ İNCELENMESİ**

Sümeyye Sena Bastem<sup>1</sup>  
Gül Koçlar Oral<sup>2</sup>  
İTÜ Mimarlık Fakültesi  
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

## **ÖZET**

*Binalarda enerji etkinliğinin geliştirilmesi, enerji kullanımının, karbon emisyonlarının azaltılmasında ve iklim değişikliği ile mücadelede etkili bir parametredir. 2015 Paris İklim Anlaşmasında alınan “neredeyse sıfır enerji ve emisyon” kararı, inşaat sektöründeki uygulamaları doğrudan etkilemiştir. Bu karar, yeni yapılarla birlikte mevcut ve tarihi yapıların enerji etkinliğine yönelik müdahale ve uygulamaların artmasını sağlamıştır. Tarihi yapı stoğunun oldukça fazla olduğu Avrupa ülkelerinde tarihi yapıların enerji etkin iyileştirmesine yönelik birçok çalışma ve uygulama yapılmaktadır. Türkiye’deki mevcut yapı stoğunun önemli bir bölümünü tarihi yapıların oluşturduğu düşünüldüğünde, tarihi yapıların enerji harcamaları ve karbon emisyonlarının düşürülmesine yönelik çalışmalar, gerek mevcut yapı stoğunun enerji etkin iyileştirilmesine katkı sağlayacak, gerekse tarihi yapılarda enerji etkin iyileştirme yaklaşımının geliştirilerek tarihi mirasın korunmasını olanaklı hale getirecektir. Bu bağlamda, bu çalışmada tarihi yapılarda enerji etkinliğine yönelik yapılmış ve 2010-2024 yılları arasında Scopus veritabanında yayınlanmış olan makaleler ele alınmıştır. Tarama sonucunda ulaşılan 272 makale içerik incelemesi ile ön elemeyen geçirilmiştir. Eleme sonucunda kalan 196 birincil makale bibliyometrik analiz ile değerlendirilmiştir. Birincil makalelerin analiz sürecini ve sonuçlarını açıklayan bu çalışmada, konu ile ilgilenen araştırmacılara konunun araştırma boşluklarını sunmak, genel bir bakış açısı ve yeni fikirler üretebilme fırsatları sağlamak hedeflenmiştir.*

*Anahtar sözcükler: Tarihi yapılar, enerji etkinliği, enerji etkin iyileştirme, bibliyometrik analiz.*

## **ABSTRACT**

*Improving energy efficiency in buildings is an effective parameter in reducing energy use, carbon emissions and preventing climate change. The “nearly zero energy and emissions buildings” decision taken in the 2015 Paris Climate Agreement has directly affected the practices in the construction industry. This decision enabled the increase of interventions and practices regarding the energy efficiency of existing and historical buildings as well as new buildings. In European countries, where the historical building stock is quite large, many studies and applications have been carried out for the energy improvement of historical buildings. When the existing building stock and energy consumption in Turkey are examined, it is clear that interventions aimed at reducing the energy consumption and carbon emissions of historical buildings will offer opportunities such as increasing the use of buildings and supporting the conservation approach. In this context, this study discussed articles on energy efficiency in historical buildings published in the Scopus database between 2010 and 2024. 272 articles reached as a result of the screening were pre-selected through a literature review. As a result of the elimination, the remaining 196 articles were evaluated with bibliometric analysis. This paper, which explains the analysis process and results of the evaluated articles, aims to provide opportunities for researchers interested in the subject, such as providing a general perspective, identifying research gaps, and generating new ideas.*

*Keywords: Historic buildings, energy efficiency, energy retrofitting, bibliometric analyses.*

<sup>1</sup> e-posta adresi: ozdemirsu18@itu.edu.tr

<sup>2</sup> e-posta adresi: kgul@itu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Enerji tüketimi ve CO<sub>2</sub> emisyonlarındaki artış iklim değişikliğine neden olan başlıca etmenlerdendir. Dünya genelinde enerji kullanımının %40'ı ve sera gazı emisyonlarının üçte biri inşaat sektöründen kaynaklanmaktadır. Sera gazı emisyonlarının büyük bir kısmını ise karbondioksitin (CO<sub>2</sub>) oluşturduğu bilinmektedir. İklim değişikliğinin önüne geçebilmek için uluslararası ölçekte, inşaat sektöründe binaların yapım, kullanım ve yıkım sürecinde stratejiler geliştirilmektedir. Yeni yapıların enerji ihtiyaçlarının ve CO<sub>2</sub> salımlarının azaltılması yolunda önlemler; standartlar ve protokollerle belirlenmektedir. Yeni yapıların yanı sıra dünya genelinde mevcut yapı stoğunun enerji ihtiyacını ve CO<sub>2</sub> salımını düşürmeyi hedefleyen iyileştirmeye yönelik çalışmalar ve uygulamalar artmaktadır. Yapılan çalışmalara göre bina sektöründe enerji tüketimini önemli ölçüde azaltmanın en etkili yolu, mevcut yapıların enerji etkinliği açısından niteliğini artırmaktır [1].

Mevcut yapıların enerji etkin iyileştirilmesine yönelik düzenlemeler ve uygulamalar yapılmasına rağmen tarihi binalar, Binaların Enerji Performansı Direktifi gerekliliklerinden muaf tutulmaktadır. Son yıllarda kültürel mirasın korunması ile yaşamın doğal temellerinin korunmasının eşit derecede önemli hedefler olduğuna dair farkındalık artmaktadır [2]. Bu durum tarihi yapılarda enerji etkin iyileştirmeye yönelik araştırmalar ve uygulamalar yapılmasını teşvik etmiştir.

Tarihi yapıların modern yaşama dahil edilerek korunması, yapıların çevresi ile birlikte iyileştirilmesi ve yapı ömrünün uzatılması koruma açısından kritik öneme sahiptir [3, 4]. Güncel kullanım koşullarına uyarlanmış tarihi yapılarda çoğunlukla nemden kaynaklı yapısal hasar ve küf oluşumu görülmektedir. Isı yalıtımı, hava sızdırmazlığının sağlanması, havalandırma ve ısıtma sisteminin yenilenmesi gibi enerji etkinliği önlemleri yapılarda nem kontrolü sağlayabilmektedir. Nemin kontrolünün yanı sıra, alınan enerji etkinliği önlemleri termal konforun iyileştirilmesini, enerji maliyetlerinin düşürülmesini sağlayarak tarihi yapıların kullanılabilirliğini artırmaktadır. Böylece doğru süreç yönetimi ile tarihi yapılarda miras değerini azaltacak müdahalelerden kaçınılarak enerji etkin iyileştirme önlemleri almak, yapısal hasarın ve bakım maliyetlerinin azaltılması, yapının sağlıklı kullanılarak yapı yaşam döngüsünün uzatılması ve yapının değişen iklim koşullarına uyum sağlaması gibi faydalar sağlayacaktır.

Bu çalışmada, tarihi yapılarda enerji etkin iyileştirmelere yönelik güncel araştırmaları, eksiklikleri ve gelişme eğilimlerini araştırmak amacıyla Scopus'ta yayınlanan makalelerin niceliksel analizi yapılmıştır. Yapılan niceliksel analiz bibliyometrik analiz yöntemi ile VOSviewer aracı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tarihi yapılarda enerji etkin iyileştirmeye yönelik 2010-2024 yılları arasında Scopus veri tabanında İngilizce olarak yayınlanan makaleler analiz edilmiştir. Tarama sonucunda ulaşılan makalelerin özetleri incelenmiş, konu ile ilişkisiz olanlar elenmiş ve 196 makale belirlenmiştir. Konu ile birinci dereceden ilişkili olan 196 makale üzerinde bibliyometrik analiz yapılmıştır.

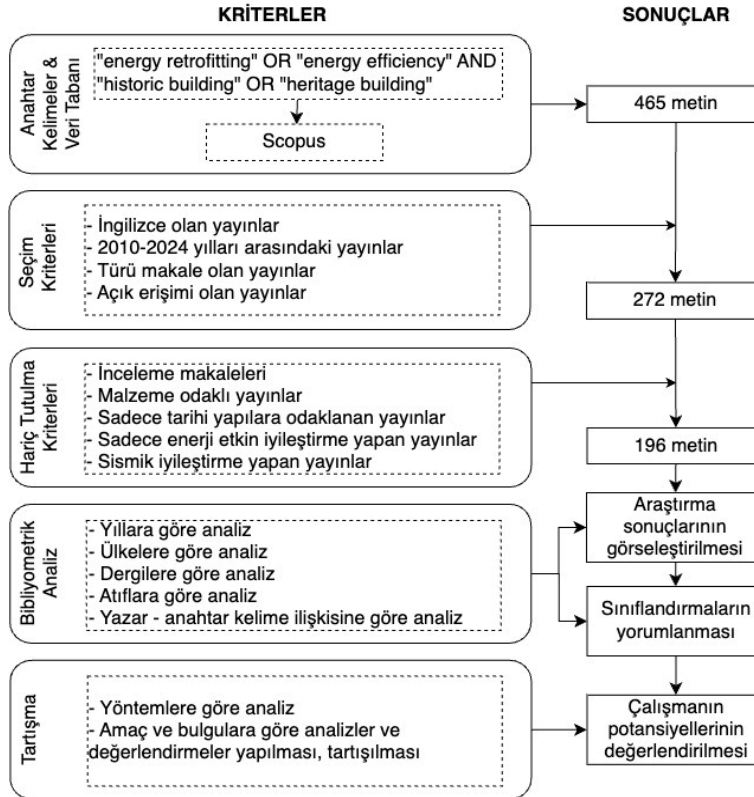
Analiz sürecini ve sonuçlarını değerlendiren bu çalışmada, konu ile ilgilenen araştırmacılara konunun araştırma boşluklarını sunmak, genel bir bakış açısı ve yeni fikirler üretebilme fırsatları sağlamak hedeflenmiştir. Çalışma, tarihi yapıların enerji etkin iyileştirmesinde kullanılacak yöntemlerin derlendiği ve sunulduğu bir ön çalışma niteliğindedir. Sonuç bölümünde tarihi yapılarda enerji etkin iyileştirme çalışmalarının ihtiyacı, önemi; bu çalışmalardaki güncel ve gelecek yaklaşımlar tartışılmıştır. Tartışma Türkiye'nin bu konudaki araştırma ve uygulamalarına da değinmiş, bu tür çalışmaların yaygınlaştırılmasının gerekliliği vurgulanmıştır.



## 2. YÖNTEM

Bibliyometrik analiz geniş kapsamdaki literatürü inceleyebilen, nicel tekniklere dayanan, incelenen verileri tarafsız bir şekilde değerlendiren bir literatür tarama yöntemidir. Akademik yayınların farklı araştırma bileşenleri (yazarlar, ülkeler, konular, kavramlar vs.) arasındaki sosyal ve yapısal ilişkileri sayısal analiz ve istatistiksel verilerle inceleyerek, bir alanın bibliyometrik entelektüel yapısını özetlemeyi sağlar [5]. Bibliyometrik yöntemin literatür taramadan farkı, belirli bir araştırma alanının yapısını değerlendirmeye odaklanması ve yayınların hedef yıllarda nasıl bir eğilim gösterdiğini incelemeye olanak vermesidir [6].

Bu çalışmada tarihi yapılarda enerji etkin iyileştirme konusunun potansiyelleri ve eğilimlerini belirlemek amacıyla bibliyometrik yöntemle değerlendirme yapılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda 2010-2024 yılları arasında Scopus veritabanında yayınlanan akademik çalışmalarda “energy retrofitting”, “energy efficiency”, “historic building”, “heritage building” kavramları Başlık, özet ve anahtar kelimelerde aratılmıştır. Ulaşılan yayınlardan İngilizce ve makale formatında yayımlanmış olanlar çalışmaya dahil edilmiştir. Sınırlamalar sonucunda 272 makaleye ulaşılmıştır. Yalnızca niceliksel analiz yapmak yerine makalelerin niteliksel olarak incelenmesi için makale özetleri okunmuş, hariç tutma kriterleri uygulanarak birincil ilişkili olan yayınlar belirlenmiştir. Özeti incelenen makalelerden inceleme makalesi olan; yalnızca tarihi yapılardan bahseden, enerji konusunu dikkate almayan; yalnızca enerji etkin iyileştirmesinden bahseden, tarihi yapıyı dikkate almayan; malzeme odaklı olan ve tarihi yapılarda sismik iyileştirmeden bahseden 76 makale konuyla doğrudan ilişki kurmadığından elenmiştir. Belirlenen 196 birincil makale ise bibliyometrik olarak analiz edilmiştir. Analiz süreci Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1: Çalışmanın akış süreci

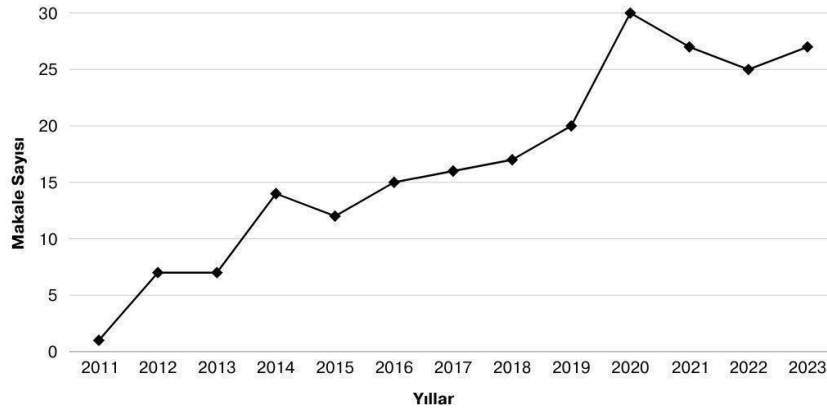
Çalışmada bibliyometrik analiz aracı olarak VOSviewer kullanılmıştır [7]. Bir yazılım aracı olan VOSviewer, bibliyometrik analize olanak tanıyan metin madenciliği, haritalama ve veri görselleştirmeye yönelik bir programdır [8]. Verilere dayalı olarak yazarların, dergilerin ve/veya anahtar kelimelerin ilişkilerini analiz eden, haritalarını oluşturan ve haritaların detaylarıyla incelenebilmesini sağlayan Java temelli bir programdır [7, 9]. Bu çalışmada yıllara, yayınlandığı dergilere, coğrafi konumlarına, yazar ve anahtar kelime ilişkisine ve en çok atıf yapılan makalelere göre olmak üzere beş farklı analiz yapılmıştır. Bibliyometrik analiz ile birlikte çalışmada nitel değerlendirmeler yapabilmek için içerik analizleri de yapılmış, içerik analizleri kapsamında makalelerin yöntemleri, amaç ve bulguları da analiz edilmiştir.

### 3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Çalışmada yapılan bibliyometrik analiz ve içerik analizi sonuçları bu bölümdeki alt başlıklarda ayrı ayrı incelenmiştir.

#### 3.1. Yayın Yıllarına Göre Analiz

Konunun güncelliğini yıllık eğilimlerle göstermek için yayın yıllarına göre analiz yapılmıştır. İncelenen 196 birincil çalışmanın yıllara göre dağılımı Şekil 2’de görüldüğü gibi analiz edilmiştir. Grafığe bakıldığında tarihi yapılarda enerji etkin iyileştirme konusunun yaygınlığı 2020 yılına kadar artarak devam ettiği son yıllarda ise birbirine yakın sayılarda yayınlar yapıldığı görülmüştür.



Şekil 2: Yıllara göre makale sayısı

#### 3.2. Yayınların Coğrafi Konumlarına Göre Analiz

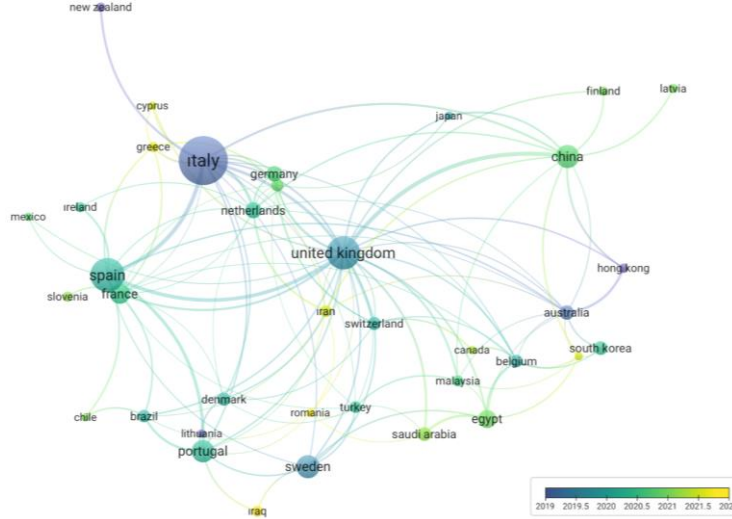
Bir araştırma hakkında öne çıkan ülkelerle ilgili bilgiler araştırmacılar arasında işbirliklerini teşvik edebilir [10]. Aynı zamanda konu ile ilgili öncülük eden ve gelişmekte olan ülkelerin belirlenmesine de katkı sağlar. Çalışma kapsamında incelenen birincil makaleler ülkelere göre analiz edilmiş ve makalelerin 44 farklı ülkede yayınlandığı tespit edilmiştir. Ülkeler minimum makale sayısı ve minimum atıf sayısına göre sınırlandırılmış en çok yayın yapan 10 ülke ve yayın sayılarının dağılımı Şekil 3’te görselleştirilmiştir. Üretilen yayın sayıları ve atıf sayıları incelendiğinde İtalya, İspanya ve İngiltere'nin tarihi yapılarda enerji etkinliği ile ilgili

araştırmalarda en büyük katkıyı sağladıkları görülmektedir. Bu durum ülke sınırları içerisindeki tarihi yapıların fazla olmasından ve ülkelerin 2050 iklim sözleşmesindeki kararlarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Öncü ülkelerin politikaları ve yaklaşımları, bu konuyu yeni çalışacak ülkeler için referans kaynağı olacaktır.



Şekil 3: En çok yayın yapan ülkelerin haritada gösterimi

Ülkeler arasındaki bağlantı ve konuyu tartışmaya başladıkları yıllara göre analiz Şekil 4’de gösterilmiştir. Buna göre tarihi yapılar ve enerji konusu ile ilgili en eski çalışmaların İtalya’da yayınlandığı, Irak, Kıbrıs, Romanya gibi ülkeler, 2022’den itibaren bu konu üzerine çalışmalar yapmaya başlamışlardır.

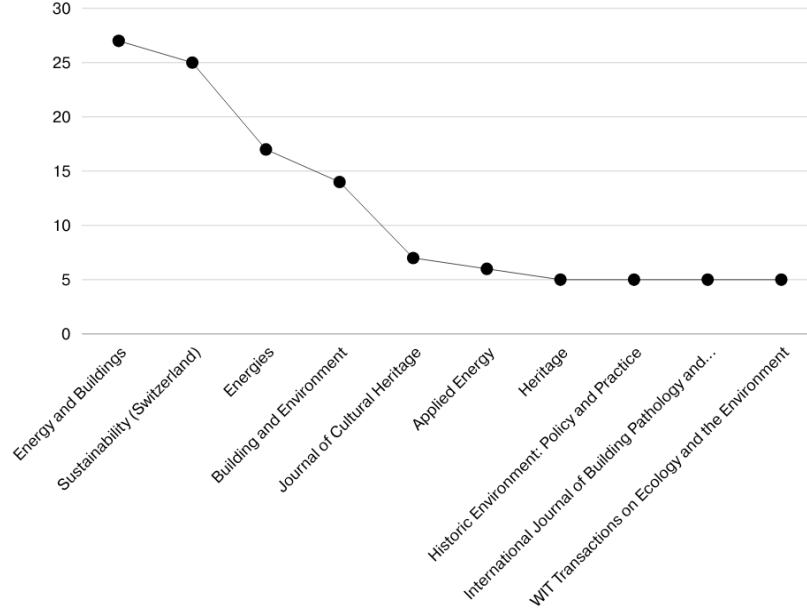


Şekil 4: Ülkeler arasındaki bağlantılar ve yılların analizi [11]

### 3.3. Yayınlandıkları Dergilere Göre Analiz

Analiz sonucunda, incelenen 196 makale Scopus’ta taranan 66 farklı dergide yayınlanmıştır. Makalelerin bu dergiler içerisindeki dağılımları incelendiğinde en fazla yayın 27 makale ile Energy and Buildings dergisinde yayınlanmıştır. Bu dergiden sonra en fazla atıf alan dergiler sırasıyla Sustainability (Switzerland), Energies, Building and Environment, Journal of Cultural Heritage,

Applied Energy, Heritage, Historic Environment: Policy and Practice, International Journal of Building Pathology and Adaptation ve WIT Transactions on Ecology and the Environment dergileri olduğu Şekil 5’te de görülmektedir. Bu dergiler, enerji ve restorasyon alanlarındaki araştırma yayınları açısından öne çıkan dergilerdendir. Farklı iki alandaki dergilerin tarihi yapılar ve enerji konusundaki makaleleri yayınlamaları, konunun potansiyelini ve multidisipliner bir kapsama sahip olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 5: Yayınların dergilere göre dağılımı

### 3.4. Ortak Atıf Analizi

Ortak atıf analizinde alıntı yapılan belgeler, kaynaklar ve yazarlara göre üç farklı analiz yapılabilmektedir. Bu çalışmada yalnızca makaleler ele alındığından kaynak türüne göre yapılan analiz çalışmaya dahil edilmemiştir. Konu ile ilgili en çok atıf alan makaleler ve bu konuda çalışan yazarlar belirlenmiş, bağlantıları kurulmuş ve analiz edilmiştir.

VOSviewer’de analiz edilen 196 makalenin referanslarından alınan bilgilere göre en çok atıf alan makalelere göre analiz yapılmıştır. 10.969 referansa ulaşılmıştır, bu referanslardan en az 5 kez tekrarlanan referans kümelenmiştir. Kümeleme sonucuna göre bu kriteri sağlayan 40 referans listelenmiştir ve Şekil 6a’daki gibi görselleştirilmiştir. En çok atıf alan makaleler sırasıyla; **12** (31), **13** (27), **14** (12), **15** (12) ve **16** (10) olarak belirlenmiştir. Diğer makale bilgileri ve atıf sayıları ile ilgili detaylı bilgiye şekillerin bağlantı adresinden ulaşılabilir. Makaleler incelendiğinde en çok atıf alan üç makalenin inceleme makalesi olduğu, diğer ikisinin ise rehber niteliği taşıyan süreç ve yöntemi anlatan metinler olduğu görülmektedir.

En çok atıf alan yazarlar incelendiğinde ise referanslarda adı geçen yazar sayısının 13841 olduğuna ulaşılmıştır. En az 10 kez tekrarlanan yazarlar sınırlandırıldığında analiz sonucunda 383 yazar ismi tanımlanmış ve kümelenmiştir. Kümeleme sonuçları Şekil 6b’deki gibi görselleştirilmiştir. Bu alanda 100 üzerinde atıf alan yazarlar; Elena Lucchi [161], Alexandra Troi [152], Anna Laura





### 3.6.2. Enerji etkinliği ve CO<sub>2</sub> Salımının azaltılması

Analiz sonucuna göre, bu başlık altında ısıtma sisteminin iyileştirmesine yönelik müdahaleleri içeren, CO<sub>2</sub> salımının azaltılmasına ve enerji etkinliği üzerine yaklaşım geliştiren çalışmalar yer almaktadır.

Tarihi yapıların enerji etkin iyileştirilmesinde en büyük risk yapının miras değerinin düşürülmesidir. Bu nedenle tarihi yapının enerji etkinliğine yönelik çalışmada iyileştirmesi önerilen ilk sistem ısıtma sisteminin yenilenmesidir. Isıtma sisteminin yenilenmesi enerji etkinliğinin yanı sıra CO<sub>2</sub> salımının azaltılması açısından da etkili bir müdahaledir.

Tarihi yapılarda enerji etkinliği ile ilgili net politikalar sunulup ve kararlar alınmadığından enerji etkinliği potansiyelini artırmak için tahmin metodu geliştiren çalışmalar da yapılmaktadır. Bununla birlikte enerji kullanımını azaltılmasına yönelik analizlerle yaklaşım geliştirme ve miras yapıları için enerji kullanım sertifikalarının uygulanabilirliği gibi konulara odaklanmış olan yayınlar olduğuna ulaşılmaktadır.

### 3.6.3. İç mekan kalitesi ve konfor

Tarihi yapılar günümüzde genellikle birincil fonksiyonunda kullanılmamaktadır. Kullanım amacının ve kullanıcıların değişimi yapıdan beklenen konfor koşullarını da doğrudan etkilemektedir. İncelenen çalışmalardaki tarihi yapılar genellikle müze ve eğitim binası olarak kullanılmaktadır. Yapıların uygun konfor koşullarına getirilmesi için yapılan müdahalelerin; termal konforun sağlanması, iç ortam kalitesinin iyileştirilmesi, görsel konforun artırılmasına yönelik olduğuna ulaşılmıştır.

### 3.6.4. Sürdürülebilirlik ve çevresel etkiler

Sürdürülebilirlik ve koruma yaklaşımlarının bir arada değerlendirildiği çalışmalarda yapıların çevresel etkilerinin azaltılmasına yönelik sıfır emisyonla yenileme, PV uygulamaları ve entegrasyonu yapılmıştır. Özellikle Neredeyse Sıfır Enerjili Binalar (NZEB) hedeflerine ulaşabilmek için tarihi yapılarda yenileme süreçlerinde enerji etkinliğinin artırılması ve emisyon miktarlarının azaltılmasına yönelik iyileştirme ve restorasyon çalışmaları gerçekleştirilmektedir.

### 3.6.5. Güncel yaklaşımlar

Yayınlar incelendiğinde son 3 yılda yayınlanan makalelerde teknolojik yeniliklerin süreçlere ve özellikle izleme sistemlerine entegre edilmesi yönünde artan bir eğilim olduğuna ulaşılmıştır. İzleme sisteminin geliştirilmesi için HBIM yaklaşımının yaygınlaştırılması, yeni algoritma nerileri geliştirilmesi, görselleştirme teknikleri ile enerji etkinliği analizi gibi çalışmaların yapılmaya başlandığına ulaşılmıştır.

## 4. TARTIşMA VE SONUÇ

Tarihi yapılarda enerji etkin iyileştiriminin incelendiği bu çalışmada bibliyometrik literatür taraması ile analizler yapılmış, yayınların nitelik ve niceliksel incelemeleri sunulmuştur. 2010-2024 yılları arasında yayınlanan toplam 196 makale inceleme için seçilmiştir. Tarihi yapılarda

enerji etkin iyileştirme alanındaki araştırmaların artan eğilimi, artan yayın sayısıyla yansıtılmaktadır. Bununla birlikte bibliyometrik analiz sonuçları;

- yayın çıktılarına göre önde gelen ülkeleri,
- konu ile ilişkili makalelerin yayınlanabileceği etkili dergilerin belirlenmesini,
- ortak atıf analizi ile en çok atıf alan çalışmalarını ve araştırma alanının önde gelen isimlerini,
- incelenen makalelerin temel anahtar kelimeleriyle birlikte kullanılan diğer anahtar kelimeleri, konu ile ilişkili güncel anahtar kelimeleri, yayın sayıları ve işbirliği ilişkilerine göre bağlantılarını, sunmuştur.

Belirlenen birincil makaleler, konusu ve yöntemine göre incelenmiş tarihi yapılarda enerji etkin iyileştirmeye yönelik alınan karar ve uygulanan yöntemler sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma sonucuna göre odaklanılan konular, yapı kabuğunun enerji etkin iyileştirilmesi, enerji etkinliği ve CO<sub>2</sub> salımının azaltılması, iç mekan kalitesi ve konfor koşullarının iyileştirilmesi, sürdürülebilirlik kapsamında çevresel etkilerin azaltılması ve güncel yaklaşımlar başlıkları ile sıralanmıştır.

Yayın sayılarındaki artış genel yayın sayısının yıllara göre artmasına bağlı olabileceği gibi, tarihi yapıların iyileştirmesine yönelik özellikle Avrupa ülkelerinin teşviği ile yapılan araştırma ve uygulama projelerinin de etkili olduğu düşünölmektedir. Yayın çıktılarına göre önde gelen ülkeler değerlendirildiğinde, gelişmiş ve kültürel miras yapıları fazla olan ülkelerin bu konuya verdikleri önemin fazla olduğu söylenebilir. Gelişmekte olan ülkelerde inşaat sektörü sürekli olarak yeni binaların inşasına odaklanmakta, tarihi binaların korunması, restorasyonu ve bakımı konusunda yatırım ve uygulamalar geri planda kalmaktadır. Bu durum, ülkelere göre analizlerde akademik yayın sayısı ile de doğrulanmaktadır. Tarihi yapılardaki iyileştirmenin sadece yapı ölçeğinde değil küresel ölçekte de etkisinin büyük olacağı göz önünde bulundurularak gelişmekte olan ölkere gerekli desteğin verilmesi ve teşvik edilmesi yönünde adımlar atılması önemli olacaktır. Bu gelişmelerin hızlanmasında ve yeni bağlantılar kurulmasında; akademik çalışmalar, ilişkiler ve işbirliklerinin etkili olacağı düşünölmektedir.

Anahtar kelimelerinin incelenmesi sonucunda güncel kullanılan anahtar kelimelerin “HBIM”, “higrotermal performans/ higrothermal performance”, “karbon ayak izi/ carbon footprint” “güneş enerjisi/ solar energy” ve “mikro iklim/ microclimate” olduğu tespit edilmiştir. Bu güncel kelimelere bakıldığında VR/AR gibi “görselleştirme teknikleri”, “yapay zeka”, “dijital ikiz” gibi güncel kavramların bulunmaması ilgi çekicidir. Sonraki yıllarda yapılacak olan çalışmalarda bu yaklaşımlar hata tespiti, çözüm önerisi geliştirme, izleme, uygulama gibi süreçlerde kullanılabilir. Bu yaklaşımların yanı sıra 3.6.5 başlığında da bahsedildiği gibi, güncel makalelerde teknolojik yeniliklerin süreçlere ve özellikle izleme sistemlerine entegre edilmesi yönünde artan bir eğilim olduğuna ulaşılmıştır. İzleme sisteminin geliştirilmesi için HBIM yaklaşımının kullanıldığı, yeni algoritmalar geliştirildiğinden bahsedilmiştir. Yapay zeka, dijital ikiz, ve görselleştirme yaklaşımları, izleme sisteminin geliştirilmesine yönelik büyük ölçüde katkı sağlayacaktır. BIM tabanlı çalışmalarda dijital ikiz ve görselleştirme teknolojisi yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Tarihi yapılara entegrasyonda farklı kısıtlamalar olduğundan bu uygulamalar henüz yaygınlaşmamıştır. Ancak, yeni sistemler ve teknolojilerle bu alandaki boşluğun en kısa zamanda kapatılması öngörülmektedir.

Çalışma tarihi yapılarda enerji etkin iyileştirmeye yönelik literatüre katkı sağlamış olsa da veri tabanları, veri türleri genişletilerek daha fazla çalışmaya ulaşıp daha kapsamlı bir analiz sunulabilir. Bu nedenle gelecekteki çalışmaların kapsamı genişletilebilir, anahtar kelime sayıları



değiştirilip genişletilerek konunun farklı noktalarına odaklanılabilir. Aynı zamanda çalışmadaki sonuçlar ve bulguların, analiz edilen 196 makale özelinde gerçekleştirildiği göz ardı edilmemelidir. Seçilen makalelerin seçim parametreleri araştırmacı tarafından belirlenmiş, bulgular araştırmacının odaklandığı konuya göre yorumlanmıştır. Bu konu ile ilgilenen araştırmacı ve uygulayıcılara fikir verebilecek, yönlendirebilecek bir kaynak olması hedeflenmiştir.

Kısıtlarına rağmen bu çalışmanın temel amaçlardan biri de Türkçe literatüre tarihi yapıların enerji etkin iyileştirmesine yönelik katkı sağlamak ve farkındalık oluşturmaktır. İncelenen makaleler içerisinde yalnızca 2 makalenin Türkiye’den yayınlandığına ulaşılmıştır [20, 21]. Bu sayı tarihi yapılar açısından zengin olan ülkemizde konunun ne kadar az ele alındığı ve değerlendirildiğini göstermektedir. Tarihi yapılara yeterli önemin verilmemesi, müdahaleler konusundaki kısıtlamalar, izinlerdeki sınırlandırmalar yapıların enerji etkin iyileştirilmesi açısından araştırma ve uygulamalarda boşluklar oluşturmaktadır. Ülkemizde mevcut yapı stoğu ve tarihi yapıların iyileştirilmesi, ülke ekonomisine ciddi faydalar sağlayacağı gibi, tarihi yapıların korunmasını ve sürdürülebilirliğini destekleyecek önemli bir adım olacaktır.

## KAYNAKLAR

1. Ballarini, I., Corgnati, S. P., & Corrado, V. (2014). Use of reference buildings to assess the energy saving potentials of the residential building stock: The Experience of Tabula Project. *Energy Policy*, 68, 273–284. doi:10.1016/j.enpol.2014.01.027.
2. Alexandra Troi, A., EURAC research, Bastian, Z. (2015). *Energy Efficiency Solutions for Historic Buildings*. Birkhäuser, Basel.
3. Ahunbay, Z. (1999). Tarihi Çevre Koruma ve Restorasyon. *Yapı Dergisi*, Mimarlık Tasarım Kültür Sanat. Yapı Endüstri Merkezi Yayınları.
4. Kuban, D. (2000). Tarihi Çevre Koruma ve Onarımın Mimarlık Boyutu Kuram ve Uygulama, Yapı Endüstri Merkezi Yayınları. Yapı Endüstri Merkezi Yayınları.
5. Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of business research*, 133, 285-296.
6. Tutar, H., Selçuk, N. A. M., & Çağıltay, C. G. (2023). Bibliometric Analysis and Visual Mapping of the Articles Published in the ILEF Journal from the Beginning to the Present. *Kastamonu İletişim Araştırmaları Dergisi*, (10), 87-105.
7. URL-1: VosViewer Aracı Web Sitesi: <https://www.vosviewer.com/> Erişim Tarihi: 01.04.2024
8. İrapoğlu, N., Güleçoğlu, H. N., & Yazıcı, B. T. (2023). New Media As A Re-Generative Tool In Architectural Studies. *Livenarch VIII Livable Environments & Architecture*, 169.
9. Van Eck, N., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *scientometrics*, 84(2), 523-538.
10. Adegoriola, M. I., Lai, J. H., Chan, E. H., & Darko, A. (2021). Heritage building maintenance management (HBMM): A bibliometric-qualitative analysis of literature. *Journal of Building Engineering*, 42, 102416.
11. URL-2: Şekil 4- Ülkeler arasındaki bağlantılar ve yılların analizi, detaylı görseli için: <https://tinyurl.com/25hplbeb> Oluşturulma Tarihi: 02.04.2024

12. Mazzarella, L. (2015). Energy retrofit of historic and existing buildings: The legislative and regulatory point of view. *Energy and Buildings*, 95, 23-31.
13. Webb, A. L. (2017). Energy retrofits in historic and traditional buildings: A review of problems and methods. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 748-759.
14. Lidelow, S., Orn, T., Luciani, A., & Rizzo, A. (2019). Energy-efficiency measures for heritage buildings: A literature review. *Sustainable Cities and Society*, 45, 231-242.
15. De Santoli, L. (2015). Guidelines on energy efficiency of cultural heritage. *Energy and Buildings*, 86, 534-540.
16. Galatioto, A., Ricciu, R., Salem, T., & Kinab, E. (2019). Energy and economic analysis on retrofit actions for Italian public historic buildings. *Energy*, 176, 58-66. ISO 690.
17. URL-3: Şekil 6-a- Atıf sayılarına göre kaynakların analizi, detaylı görseli için: <https://tinyurl.com/2ae6zbpk>  
Oluşturulma Tarihi: 02.04.2024
18. URL-4: Şekil 6-b- Atıf sayılarına göre yazarların analizi, detaylı görsel için: <https://tinyurl.com/25qmwg2y>  
Oluşturulma Tarihi: 02.04.2024
19. URL-5: Şekil 7- Anahtar kelimelere göre analiz, detaylı görsel için <https://tinyurl.com/2d6qvvaj> Oluşturulma Tarihi: 02.04.2024
20. Şahin, C. D., Arsan, Z. D., Tunçoku, S. S., Broström, T., & Akkurt, G. G. (2015). A transdisciplinary approach on the energy efficient retrofitting of a historic building in the Aegean Region of Turkey. *Energy and Buildings*, 96, 128-139.
21. Kocaman, B. (2020). Energy Efficiency In Lighting For Historical Buildings: Case Study Of The El Aman Caravanserai In Province Of Bitlis, Turkey. *Light & Engineering*, 28(4).

# **LEED- EB O+M DEĞERLENDİRME SİSTEMİ KAPSAMINDA İYİLEŞTİRİLMİŞ BİR ENDÜSTRİ YAPISI ÖRNEĞİ: TUZLA BAYMAK MAKİNE SANAYİ VE TİCARET A.Ş.**

Zeliha Banu Yavuz Pelvan<sup>1</sup>  
Berat Cansu Güldağlı<sup>2</sup>  
İstanbul Arel Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Tepekent, Büyükçekmece, İstanbul, 34537

## **ÖZET**

*Yeşil yapılar, doğal kaynakların verimli ve etkin kullanılmasıyla çevreye verilecek zararın azaltılması amacını güden, çevre dostu, doğa ile uyumlu, doğal kaynakları ve enerjiyi verimli kullanabilen, aynı zamanda insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri minimuma düşürmeyi hedefleyen ekolojik yapılardır. Sürdürülebilir yeşil yapıların giderek yaygınlaşmasıyla, bu yapılar için; standartlar belirleyerek, objektif, somut ve ölçülebilir bir referans sağlamak amacıyla yeşil yapı sertifikası sistemleri geliştirilmiştir. Yeşil yapı değerlendirme sistemlerinden biri olan LEED; yapı işlevine, yapının yaşına ve yapının aldığı puana göre çeşitli kategorilerden oluşmaktadır. Mevcut yapıların enerji etkin tasarım ölçütlerine uygun olarak iyileştirilmesi, yeni yapıların enerji tasarruflu bir şekilde tasarlanması kadar önem teşkil etmektedir. Bu çalışmada, mevcut yapıların iyileştirilmesi ve dönüştürülmesi için tercih edilen LEED-EB O+M (LEED- Existing Buildings Operation and Maintenance/ LEED- Mevcut Yapılarda Operasyon ve Bakım) değerlendirme sistemi kapsamında; Tuzla Baymak Makine Sanayi ve Ticaret A.Ş. endüstri yapısı, örnek vaka çalışması yöntemi ile değerlendirilmiştir. Amaç; mevcut yapıların iyileştirilmesinin önemini vurgulamak, bu konuda farkındalık yaratabilmek ve ele alınan örnek ile, mevcut yapıların sertifikası alabilmesi için yapılması gerekenleri göstermektir. Çalışmada, Tuzla Baymak Makine Sanayi ve Ticaret A.Ş. endüstri yapısı tanıtılmış ve ardından mevcut yapıların iyileştirilmesi için uygulanan değerlendirme sistemlerinden biri olan LEED-EB O+M kategorileri kapsamında yapı detaylı bir şekilde irdelenmiştir. Tüm çıkarımlar neticesinde, eksikliklerin tespit edildiği noktalar için öneriler geliştirilmiştir.*

*Anahtar sözcükler: Sürdürülebilirlik, Yeşil yapı sertifikası sistemleri, Mevcut yapıların iyileştirilmesi, LEED-EB O+M, Tuzla Baymak Makine Sanayi ve Ticaret A.Ş. endüstri yapısı örneği.*

## **ABSTRACT**

*Green buildings aim to minimize environmental damage by using natural resources efficiently, being environmentally friendly and promoting human health. Certification systems such as LEED have been developed to provide objective standards for green buildings, and there are various categories based on building function, age and score. Retrofitting existing buildings to be energy efficient is as important as designing new buildings with energy efficiency in mind. This study focuses on the LEED-EB O+M rating system used to retrofit existing buildings. With a case study on the industrial building of Tuzla Baymak Makine Sanayi ve Ticaret A.Ş., it is aimed to emphasize the importance of retrofitting existing buildings, to raise awareness on this issue and to show what needs to be done to certify existing buildings. The study includes the introduction of the building and a detailed examination of its performance in LEED-EB O+M categories and suggestions for improvement areas.*

*Key words: Sustainability, Green building certification systems, Retrofitting of existing buildings, LEED-EB O+M, Tuzla Baymak Machine Industry and Trade Inc.*

<sup>1</sup> banupelvan@arel.edu.tr

<sup>2</sup> beratguldagli22@istanbularel.edu.tr

## 1.GİRİŞ

Teknolojideki hızlı ilerleme, küreselleşme, sanayileşme ve nüfus artışına bağlı olarak enerji ve doğal kaynaklara olan ihtiyacın artmasıyla; yenilenebilir enerji kaynaklarında azalma meydana gelmiş ve böylelikle, yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmaya başlanmıştır. Sürdürülebilirlik kavramı da gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakabilmek için insanoğlunun hayatına girmiştir [1]. Nüfusun hızla artması ve kaynakların bilinçsiz kullanımıyla, sürdürülebilirlik zamanla bir ihtiyaca dönüşmüştür. Buna paralel olarak yeşil yapı kavramı ortaya çıkmış ve yeşil yapı sertifikası sistemleri önem kazanmıştır. Sertifikalar; belirli ölçüm standardı belirleyerek, yapıların özelliklerinin objektif olarak değerlendirilebilmesi için somut veriler ortaya koymayı hedefler. Başlangıçta oluşturulmuş olduğu ülkeye özgü olan sertifikalar, LEED ve BREEAM gibi sertifikaların farklı ülkelerde de kullanılması üzerine, uluslararası bir kimlik kazanmıştır. Her sertifika, farklı değerlendirme ölçütleri ve puanlama sistemine sahiptir. Ayrıca yapının bulunduğu ülke ve iklim, yapının işlevi (konut, hastane, okul vb.) ve yapının özellikleri (yeni, mevcut vb.) sertifikanın türünün belirlenmesi konusunda etkilidir. LEED (Leadership in Energy and Environmental Design- Enerji ve Çevresel Tasarımda Liderlik), Amerikan Yeşil Yapılar Konseyi (USGBC) tarafından 1998 yılında geliştirilmiş bir sertifika programıdır. Programın amacı; yapıların, yaşam döngüsü sürecinde kullanıcı konforundan ödün vermeden, çevreye olan negatif etkileri en aza indirmek ve yeşil rekabeti desteklemektir. Bu doğrultuda LEED-EB O+M (LEED-Existing Buildings Operations and Maintenance / LEED- Mevcut Yapılarda Operasyon ve Bakım), LEED sertifikasının mevcut yapıların iyileştirilmesine yönelik geliştirmiş olduğu bir değerlendirme sistemidir.

Sanayi yapıları, çeşitli ürünlerin üretildiği ve iş akışının organize bir şekilde yürütüldüğü üretim mekânlarıdır [2]. Bu yönüyle endüstri yapılarında, iş akışının doğru bir şekilde ilerleyebilmesi, iş kazalarının minimuma inebilmesi, verimli bir çalışma ortamının sağlanabilmesi ve çevreye verilen zararın azaltılabilmesi için yapının belirli tasarım kriterleri ile tasarlanması ve/veya mevcut yapıların bu doğrultuda iyileştirilmesi gerekmektedir. Mevcut endüstri yapılarının enerji verimliliğini artırma stratejilerine gereken önemin verilmediğinin düşünülmesi ve bu alanda özellikle ülkemizde yapılan çalışmaların oldukça sınırlı sayıda olması çalışmanın problemi oluşturmaktadır. Çalışma ile, mevcut endüstri yapılarında iyileştirmenin önemine dikkat çekmek hedeflenmiştir. Amaç; mevcut yapıların iyileştirilmesine yönelik çalışmaları teşvik etmek ve mevcut yapıların dönüştürülerek enerji etkin hale getirilmesi konusunda farkındalık yaratmaktır. Çalışmada; konuyla ilişkili terimlere kavramsal çerçeve başlığı altında kısaca değinilmiştir. Çalışma kapsamında; Tuzla Baymak Makine Sanayi ve Ticaret A.Ş. isimli endüstri yapısının mevcut durumu kısaca tanıtılmış, yapı sahip olduğu LEED-EB O+M sertifikasının kategorilerine göre değerlendirilmiş ve öneriler getirilmiştir.

## 2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde konuyla ilişkili kavramlar ve tanımlar kısaca özetlenmiştir.

### 2.1. Sürdürülebilirlik Kavramı, Yeşil Yapı Sertifika Sistemleri – LEED Sertifikası

1972 yılında Stockholm’de gerçekleştirilen İnsan Çevresi Konferansı sonucu “Stockholm Çevre Bildirgesi” yayımlanmıştır. Bu konferansta sürdürülebilirlik kavramı ilk kez dile getirilmiştir.

1987’de Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu’nun yayımladığı “Brundtland Raporu” olarak da bilinen Ortak Geleceğimiz (Our Common Future) isimli raporda, sürdürülebilirlik kavramının günümüzdeki tanımı olan: “Bugünün gereksinim ve beklentilerini, gelecek kuşakların kendi gereksinimlerini karşılama olanaklarını tehlikeye atmaksızın karşılamaktır” ifadesi yer almıştır [1].

Yeşil yapılar; insanların tabiatla bütünleşmesine katkı sağlamaya, kullanıcılarının sağlık ve refahını koruyarak verimliliğini artırmaya, kaynakların verimli kullanılmasına, çevre üzerindeki olumsuz etkilerin en aza indirmesine odaklanan yapılardır [1]. Dünya genelinde farklı coğrafi konumlarda bulunan yapılar için, farklı değerlendirme sistemleri geliştirilmiştir. Bu değerlendirme sistemlerinden en popüler olanları; BREEAM, LEED, SBTool, Greenstar, Casbee şeklinde sıralanabilir. Yeşil yapı sertifika sistemleri, yapıların niteliklerinin ortaya çıkarılması ve somut verilerle değerlendirme ölçütlerinin elde edilmesini sağlamaktadır [3]. Ayrıca bu sistemler; yapıların objektif bir biçimde mukayese edilmesine imkan tanımaktadır [4].

Yeşil yapı sertifika sistemlerinden biri olan LEED, ön koşulların tamamlanması ve yeterli puanın alınması durumunda verilmektedir. Öncelikle yeni yapılara yönelik oluşturulan bu değerlendirme sistemi, ilerleyen süreçte, çeşitli yapı kategorilerine yönelik olarak da geliştirilmiştir [5]. LEED sertifikası ana başlıklarından sürdürülebilir araziye göre amaç; araziye sürdürülebilir kılmak ve çevreyi minimum seviyede etkilemek için çözümler sunmaktır [6]. Su verimliliği ana başlığına göre LEED; yapıda tüketilen su oranının minimuma düşürülmesi ve atık suların geri dönüştürülmesine odaklanmaktadır. Enerji ve atmosfere göre LEED; yapıların havalandırma, ısıtma ve soğutma sistemlerini optimize ederek enerji tasarrufu sağlamayı hedefler. Malzeme ve kaynaklara göre LEED; yapı malzemelerinin seçimi, bu malzemelerin uygulanması ve tedarik sürecinde oluşabilecek olumsuzlukların çevreye minimum yansıtılmasıdır. İç mekân hava kalitesine göre LEED; yapı kullanıcılarını hedef alır. İç mekânların kalitesi artırılmalı ve temiz hava kontrol altında tutulmalıdır. Tasarımda yenilikçiliğe göre LEED; yapının yapım süreci ve sonrasında değişiklik göstermesidir. Bölgesel öncelikler bağlamında LEED; yapı çevresindeki ulaşım, park kapasitesi gibi faktörler, yapının çevresel etkenlerini koruması ve coğrafi önceliklerine göre hareket etmesidir [3]. Bu kategori aynı zamanda, tasarım ile yapım sürecinde yerel malzeme kullanımına teşvik etmektedir [6].

## **2.2. Mevcut Yapıların Enerji Verimliliğini Artırma Stratejileri / Enerji-Etkin İyileştirme**

Mevcut yapıların enerji-etkin iyileştirilmesi, yeni yapıların enerji verimliliği stratejilerine uygun tasarlanması kadar önemlidir. Uygulanacak olan enerji verimliliğini artırma stratejileri, genel enerji tüketiminin ve işletme giderlerinin azalmasını sağlayacaktır. Enerji etkin iyileştirme faaliyetleri; yapıların aktif sistemler yükünün hafiflemesini, pasif sistemler yükünün artmasını ve buna bağlı olarak enerji giderlerinin azaltılmasına imkan tanır. Bu çalışmalar; çevresel kirlilikleri ve enerji kayıplarını azaltarak yapı kullanıcıları için daha konforlu bir ortam sağlar ve verimliliğe katkıda bulunur [4].

Bugünkü enerji korunumuna ilişkin, yönetmelik ve standart sınır değerlerini karşılamayan geçmişte inşa edilmiş birçok yapı bulunmaktadır. Bu yapılarda; enerji etkin tasarım ölçütlerine dair uygun kararların alınamaması sebebiyle ısıtma, soğutma ve havalandırma gibi temel gereksinimler için harcanan enerji miktarı oldukça büyüktür. Bu yapılarda enerji tüketiminin azaltılması artık bir gereklilik haline gelmiştir. Mevcut yapıların, mevcut performanslarının değerlendirilmesi ve sonrasında bu değerlendirme sonuçlarına göre elzem organizasyonların yapılmasıyla enerji etkin

yapılara dönüştürülmesi mümkündür. Enerji korunumu ve ekonomik açıdan bakıldığında mevcut yapıların iyileştirilmesi, eski yapıların yeniden inşa edilmesine nazaran daha uygundur. Enerji kayıplarının azaltılması, enerjinin verimli bir biçimde kullanılması ve üretilmesi; mevcut yapıların enerji verimliliğini artırma stratejileri arasındadır [4].

Enerji etkin iyileştirme stratejileri uygulanmadan önce, mevcut yapının özellikleri tespit edilmeli ve mevcut durum analizi doğru bir biçimde yapılmalıdır. Bu iyileştirmelerin simülasyon programları kullanılarak önceden test edilmesi, enerji kazanç ve kayıplarının önceden belirlenebilmesi açısından önem taşımaktadır [4]. Mevcut yapıların pencere, duvar, tavan ve çatılarına yapılan iyileştirmeler enerji maliyetini minimuma indirirken; malzemelerdeki arızalar, kalıp ve nem problemleri gibi rahatsızlıkları da azaltır. Yapının bilgi sistemi, yapının yönü, gün ışığını ve yenilenebilir enerji kullanımında elde edilen veriler ile yapılarda doğru enerji iyileştirmeleri yapılabilir. Enerji etiketleme yöntemi de mevcut yapılarda enerji etkinliğinin sağlanmasının en önemli yöntemlerinden biridir [7].

### 2.3. LEED Mevcut Yapılar: Operasyon ve Bakım (Existing Buildings: Operation & Maintenance) Değerlendirme Sistemi (LEED-EB O+M)

LEED Mevcut Yapılar sertifikası, minimum bir yıl etkinlik gösteren ve kullanılan yapılar için geçerlidir. Mevcut yapılara dahil olan projelerde, iyileştirme faaliyetleri ve/veya detaysız tadilatlar gerçekleştirilebilir. Mevcut yapılar; perakende yapılar, okullar, veri merkezleri, konaklama ile depo ve dağıtım merkezi gibi pek çok yapı türünü kapsamaktadır [8]. Bu sistem; mevcut yapıların elektrik ve su tüketimini azaltarak, karbon emisyon değeri düşük bir yapı haline gelmesine ve yapı kullanım ömrü boyunca kullanıcı performansı yüksek bir yapı oluşumuna katkı sağlar [9]. LEED Mevcut Yapı (LEED-EB O+M) kredi başlıkları ve açıklamaları **Çizelge 1**'de yer almaktadır:

**Çizelge 1:** LEED-EB O+M kredi ana başlıkları, alt başlıkları ve kredi puanları [10].

Kredi Ana Başlığı	Alt Başlıklar	Kredi Puanı	Toplam
Konum ve Ulaşım	Taşıma Performansı (Ön Koşul)	14	14
Sürdürülebilir Sahalar	Yağmur Suyu Yönetimi	1	4
	Isı Adası Etkisinin Azaltılması	1	
	Işık Kirliliğinin Azaltılması	1	
	Saha Yönetimi	1	
Su Verimliliği	Su Performansı (Ön Koşul)	15	15
Enerji ve Atmosfer	Enerji Verimliliği En İyi Yönetim Uygulamaları	Ön Koşul	35
	Temel Soğutucu Akışkan Yönetimi	Ön Koşul	
	Enerji Performansı (Ön Koşul)	33	
	İleri Soğutucu Akışkan Yönetimi	1	
	Şebeke Uyumlaştırması	1	
Malzeme ve Kaynaklar	Satın Alma ve Atık Politikası	Ön Koşul	9
	Tesis Bakım ve Yenileme Politikası	Ön Koşul	
	Atık Performansı (Ön Koşul)	8	
	Satın Alma	1	

**Çizelge 1** (devamı): LEED-EB O+M kredi ana başlıkları, alt başlıkları ve kredi puanları [10].

Kredi Ana Başlığı	Alt Başlıklar	Kredi Puanı	Toplam
İç Ortam Kalitesi	Minimum İç Hava Kalitesi	Ön Koşul	22
	Çevresel Tütün Dumanı Kontrolü	Ön Koşul	
	Yeşil Temizlik Politikası	Ön Koşul	
	İç Mekan Çevre Kalitesi Performansı (Ön Koşul)	20	
	Bütünleşik Zararlı Organizma Denetimi	1	
	Yeşil Temizlik	1	
Yenilik		1	1

Puanlama sistemine göre; maksimum kredi enerji ve atmosfer kategorisi kapsamında, minimum kredi ise yerel öncelik kategorisi kapsamında kazanılabilmektedir [11]. Tadilat sürecinde su ve enerji verimliliği için kullanılan malzemelerin doğaya zarar vermeyen ürünler olması, atık akışı yönetimi, kullanıcılar için iç mekan kalitesi ön planda tutulmaktadır. Ayrıca kullanılan malzemelerin geri dönüşüm programları sertifikada sürdürülebilir yönergeler sağlar [7]. Sertifika alım sürecinde projeye ilgili gönderilen belgeler, GBCI (Green Building Certification Institute- Yeşil Yapı Sertifikasyon Enstitüsü) tarafından incelenerek bir doğrulama sürecinden geçmektedir. Ardından yapı, almış olduğu puana karşılık gelen sertifika ile ödüllendirilmektedir. Bu sertifika seviyeleri: Platin (80 ve üstü puan), Altın (60-79 puan), Gümüş (50-59 puan) ve Yalın Sertifikalı (40-49 puan) şeklindedir [12].

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Yöntem, örnek vaka çalışmasına dayanmaktadır. Örnek vaka olarak Baymak Makine Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ye ait olan Tuzla'daki endüstri yapısı seçilmiştir. Bu yapı, LEED-EB O+M değerlendirme sistemi kapsamında iyileştirilmiş ve 67 puan ile LEED Gold sertifikası almış bir endüstri yapısıdır. Bu amaçla, çalışmada, seçilmiş endüstri yapısının çevresel sürdürülebilirlik yöneticisi ile iletişime geçilerek yönetimin kabul ettiği oranda veriye erişim sağlanmıştır. Veri paylaşım izni verilmeyen durumlarda çizim, fotoğraf gibi ürünler tarafımızca gerekli yerlerde yorumlanmış, gerekli yerlerde şemalaştırılarak çalışmada paylaşılmıştır.

Çalışmada öncelikle yapının mevcut durumu hakkında bilgi verilmiştir. Ardından günümüz koşullarına uyum sağlamak, kaynakları verimli ve etkin kullanmak, fabrika çalışanlarına konforlu ve verimli çalışma ortamı sunmak, çevreye olan negatif etkiyi azaltmak gibi sebeplerle iyileştirilmiş olan yapı; LEED-EB O+M değerlendirme sisteminin tüm kategorileri kapsamında detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Bu çalışmayla, yapılan iyileştirmeler somut bir örnek üzerinden aktarılmış ve diğer endüstri yapılarına bir örnek teşkil etmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın sonuç bölümünde, tespit edilen eksiklikler için çeşitli önerilerde bulunulmuştur.

### 4. BULGULAR

1969 yılında faaliyetlerine başlayan Baymak, 2013 yılı itibariyle iklimlendirme sektöründe Avrupa'nın önde gelen şirketlerinden biri olan BDR Thermea Group bünyesine katılmıştır. Firma,

İstanbul'da 60 bin m<sup>2</sup>'lik iki üretim tesisinde çevre dostu iklimlendirme cihazları üretmektedir. 2016 yılında; atık ısının kullanılması ile ilgili enerji tüketiminin azaltılması için yapılan verimlilik artırıcı proje ödülü, 2021 yılında “Sıfır Atık Belgesi” ve 2022 yılında “Yeşil Ofis Diploması” almıştır. “Yeşil Ofis Diploması”nın sadece ofisler için verilen bir belge olması sebebiyle tüm fabrika için (üretim alanı dahil) 2022 yılında LEED sertifikası alım sürecine girilmiş ve 26 Nisan 2023 tarihinde yapı, LEED Gold sertifikası almaya hak kazanmıştır. Fabrika, 2014 yılından bu yana “ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi” standartlarına bağlı olarak faaliyetlerini sürdürmektedir [13].

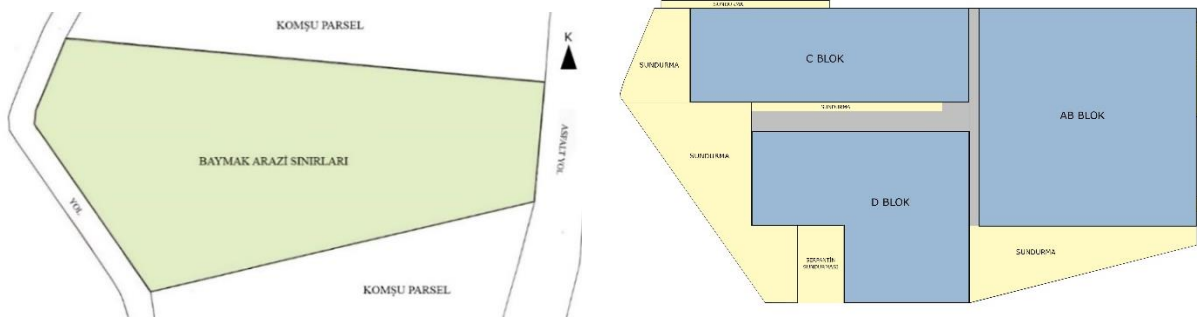
Sürdürülebilir gelecek için bilinçlendirme çalışmaları ve eğitimin önemli olduğunun bilincinde bir firma olarak, 2021 yılından beri atık yönetimi, enerji tasarrufu, elektronik atık dönüşümü, gıda atığını önleme ve kompost gübre konularında eğitimler planlanmaktadır. Çalışanlarına ve tedarikçilerine eğitimler sunan Baymak; 63 adet yerli tedarikçisinin 2025 yılı sonuna kadar EcoVadis sistemine kaydolmalarını desteklemektedir. Üretim ile ofis katında; atık yönetimi, ürün yaşam döngüsü, enerji verimliliği gibi konuların görüşüldüğü Baymak Çözümler Atölyesi kurulmuştur. “Kendi ürününü yetiştirme” bilincinin yeşermesi ve kent ortamında “bostan” oluşturmanın mümkün olduğunu göstermek adına “Baymak Bahçe Kulübü” kurulmuştur. Mavi ve beyaz yakadan gönüllü ekiple, atıl olan toprak alanı dönüştürülmüştür. 2022 Eylül ayında “Adımlar Fidana Dönüşüyor” projesi kapsamında toplam 9789 km adım atılmış ve 1000 adet fidan bağışlanmıştır. İklim değişikliğiyle mücadele kapsamında, geleceğin liderleri olarak görülen çocukların enerji kullanımı ve dünya kaynakları konusunda bilinçlenmeleri amacıyla eğitim programları mevcuttur [13].

2004 yılında; üretim kapasitesinin artmasına bağlı olarak Baymak İstanbul Tuzla'daki yapısına taşınmıştır [13]. Bu yapı, Tuzla Orhanlı Mahallesi Akdeniz Sokak'ta yer almaktadır. Tapu arsa alanı 15039,71 m<sup>2</sup>'dir. Arazinin doğusundan bir asfalt yol ve batısından farklı arazilere dahil olan yol geçmektedir. Kuzey ve güneyinde ise komşu parseller bulunmaktadır (**Şekil 1 (a)**). Arazi üzerinde birbiri ile bağlantılı üç blok yapı yer almaktadır. Bu yapılar arasında 3 ve 7,5 metre boşluklar bırakılmış olup birer açık koridor görevi görmesi sağlanmıştır. Arazi doğu – batı doğrultusunda uzanmaktadır. Zemin kat, birinci kat, ikinci kat ve üçüncü kattan oluşan yapıların merkez yapısında en üst katta ofisler yer almaktadır. Merkez yapı; 20695 m<sup>2</sup> üretim alanı, 1697 m<sup>2</sup> yemekhane, 758 m<sup>2</sup> yemekhane terası, 3200 m<sup>2</sup> ofisler olmak üzere toplam 25592 m<sup>2</sup> alana sahiptir. Merkez yapının bazı bölümlerine ait metrekare dağılımları; kombi 7532 m<sup>2</sup>, termosifon 3883 m<sup>2</sup>, boyler 2984 m<sup>2</sup>, güneş enerjisi 1247 m<sup>2</sup>, hidrofor 700 m<sup>2</sup>, yeşil alan 600 m<sup>2</sup>, brülör 300 m<sup>2</sup>, otopark 200 m<sup>2</sup> ve atık alanı 80 m<sup>2</sup> şeklindedir.

Kolon aks aralıkları doğu – batı doğrultusunda 6 metre ve kuzey – güney doğrultusunda değişken olmakla birlikte genellikle 8 ve 12 metredir. Yapıda betonarme nervürlü döşeme tercih edilmiştir. Yapının zemin kat planı incelendiğinde, vaziyet planı sınırları içerisinde artezyen kuyusu mevcuttur. Ayrıca zemin katta, 125 tonluk su deposu bulunmaktadır. Kuzey cephede bir adet, batı cephede iki adet, güney cephede iki adet, doğu cephede iki adet ve kuzeybatıda yer alan yemekhanenin bulunduğu blokta (C blok) güney cephede bir adet olmak üzere yapının çeşitli bölgelerinde farklı büyüklüklerde sundurmalar mevcuttur. Yapının güneyinde serpantin sundurması yer almaktadır (**Şekil 1 (b)**). Yapıların kuzey cephesinde çok fazla girinti çıkıntıya yer verilmemişken D bloğun güney ve batı cephelerinde girinti çıkıntılar mevcuttur. Bu durum bir anlamda kuzey cephedeki yüzey alanını düşürmek ve ısı korunumu sağlamak açısından avantaj sağlamaktadır. Yapının doğu (ön) cephesindeki ana girişte yer alan rüzgarlığın bulunduğu kısım,



saçak şeklinde öne doğru uzanmaktadır. Bu durum ışığı kontrollü bir biçimde içeri almaya ve yazın daha dik açılar ile gelen güneşi kontrol etmeye olanak sağlamaktadır.



Şekil 1 (a) ve (b): Parsel sınırları ve zemin kat vaziyet planı

Yapının yer aldığı arazideki sert – yumuşak zemin dengesi olabildiğince sağlanmaya çalışılmış ve yeşil alan tasarımına önem verilmiştir. Yapının kuzey ve güneyinde yer alan komşu parsel sınırları çam ağaçları ile set oluşturacak şekilde donatılmıştır (**Fotoğraf 1**). Yapının yer aldığı arazi alanı 15039 m<sup>2</sup> ve yapı taban alanı 7589 m<sup>2</sup>'dir. Kalan arsa alanı 7450 m<sup>2</sup> olup yönetmelikte yer alan “kalan arsa alanının her 30 m<sup>2</sup>'sine bir ağaç” ibaresine dayanarak sağlanması gereken 248 ağaç bulundurma sınırı fabrika tarafından sağlanmaktadır.



Fotoğraf 1: Tuzla Baymak fabrika yapısı peyzaj fotoğrafı [15].

Yapının saydam olan bölümlerini giydirme cephe, opak bölümlerini ise alüminyum kompozit paneller oluşturmaktadır (**Fotoğraf 2 (a) ve (b)**). Yapıların dış cephesi, yapı dış kabuğunu oluşturmakta ve dış ortam ile iç ortamı ayırmaktadır. Dış cephe bir nevi iç mekana alınması istenenlerin alınarak istenmeyenlerin girişinin engellendiği veya bazı unsurlarında kontrollü geçişine izin veren ayırıcı bir filtre görevi görmektedir. Saydam olan bölümlerde tercih edilen cam özellikleri iç mekan termal konfor, ısı ve ışık gibi kriterler bağlamında önemlidir. Bu anlamda yapının dış cephesinde tercih edilen giydirme cephenin iç mekan kullanıcı konforu ve yapının enerji tüketimi başta olmak üzere pek çok avantajı söz konusudur. Giydirme cephe; yapının dış yüzeyinin güneşin zararlı ışınlarından korumasını sağlar, dış cepheyi suya karşı korur, ısı yalıtım malzemelerinin performansına katkı sağlar ve ısı yalıtımını destekler, gürültüyü azaltır, yapı dış cephesinde çatlak oluşumu engellenmiş olur, renk ve doku bozulmaları en aza iner ve böylelikle bakım onarım maliyetleri düşer, dış cephede hafif bir çözüm sağlar, çevre dostu ve fonksiyonel bir çözümdür. Cephe camı seçimi bu konuda oldukça önemlidir. Teknolojinin gelişmesine bağlı olarak farklı niteliklerde, farklı renklerde, farklı geçirgenliklerde cephe camları mevcuttur. Tercih edilen

cephe camının gün ışığı geçirgenlik ve yansıtma oranı, renk sadakati, ısıcam olup olmaması, ısı geçirgenlik kat sayısı gibi faktörler iç mekan kullanıcı konfor koşullarını sağlamak ve enerji tüketimi konusunda önem arz etmektedir. Yapıda, cephe malzemesi olarak tercih edilmiş olan bir diğer yapı malzemesi de alüminyum kompozit paneldir. Alüminyum kompozit panelin ısı ve ses iletim katsayısı düşüktür, çevre dostudur, %100 geri dönüşümü sayesinde ekolojik olarak zararsız bir üründür. Uzun ömürlü olması sebebiyle bakım ve onarım maliyeti düşüktür [16].



**Fotoğraf 2 (a) ve (b):** Tuzla Baymak fabrika yapısı dış cephe fotoğrafları [14].

İç mekanın daha aydınlık olması açısından pencere boyutları ofis bölümlerinde asma tavan altına sıfır ve yerden yaklaşık olarak 50 cm yukarıda olacak şekilde tercih edilmiştir (**Fotoğraf 3 (a)**). Pencerelerde güneş kontrolü sağlamak için güneşlik tarzı jaluziler kullanılmaktadır (**Fotoğraf 3 (b)**). Ofis bölümleri ayrılırken ışık geçirimsiz tuğla duvarlar yerine doğal aydınlatmadan yararlanılabilecek cam ofis bölme duvarlar tercih edilmiştir. Cam duvar boyutları, bağımsız bölümlerin kolay ısıtılmasına olanak sağlayacak şekilde asma tavana kadar yekpare devam etmektedir ve her bir bağımsız bölümde doğal havalandırmayı sağlayabilecek gizli kanatlar konumlandırılmıştır. Fotoğraf 3 (c)'de görüldüğü gibi bazı hacimlerde iki aks arası yatayda uzanan bant pencereler tercih edilmiştir. Bu durum, kullanıcı açısından görsel konfor tatmini sağlamakla birlikte aynı zamanda doğal ışığın içeri alınması konusunda da etkili olmaktadır. Pencere boyutları ve cephe akslarının eşit olması, cephede kullanılan cephe profilleri, cam ve alüminyum kompozit panel gibi yapı malzemelerinin fire oranını düşürerek malzemeden tasarruf sağlamak ve atık miktarını azaltmaktadır.



**Fotoğraf 3 (a), (b) ve (c):** Tuzla Baymak fabrika yapısının iç mekanına ait görseller [17].

Tuzla Baymak Makine Sanayi Ticaret A.Ş. yapısının LEED O+M: Existing Buildings (V4.1) kapsamında değerlendirilmesi sonucu LEED Gold sertifikasını almıştır. Yapıda LEED kapsamında mimari açıdan herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Fabrikaya ait kategori puanlarının yer aldığı skor tablosu Şekil 2’de verilmiştir:

1000167722, Tuzla

**BAYMAK MAKINE SANAYI TIC. A.Ş.**

LEED O+M: Existing Buildings (v4.1) GOLD, AWARDED APR 2023

Category	Points	Max Points
<b>SUSTAINABLE SITES</b>	<b>AWARDED: 2 / 4</b>	
Credit Rainwater Mgmt	0 / 1	
Credit Heat Island Reduction	0 / 1	
Credit Light Pollution Reduction	1 / 1	
Credit Site Mgmt	1 / 1	
<b>WATER EFFICIENCY</b>	<b>AWARDED: 8 / 15</b>	
Credit Water Performance	8 / 15	
<b>ENERGY &amp; ATMOSPHERE</b>	<b>AWARDED: 21 / 35</b>	
Prereq Energy Efficiency Best Mgmt Practices	0 / 0	
Prereq Fundamental Refrigerant Mgmt	0 / 0	
Credit Energy Performance	20 / 33	
Credit Enhanced Refrigerant Mgmt	1 / 1	
Credit Grid Harmonization	0 / 1	
<b>MATERIAL &amp; RESOURCES</b>	<b>AWARDED: 5 / 9</b>	
Prereq Purchasing Policy	0 / 0	
Prereq Facility Maintenance and Renovations Policy	0 / 0	
Credit Waste Performance	5 / 8	
Credit Purchasing	0 / 1	
<b>INDOOR ENVIRONMENTAL QUALITY</b>	<b>AWARDED: 17 / 22</b>	
Prereq Minimum IAQ	0 / 0	
Prereq Environmental Tobacco Smoke Control	0 / 0	
Prereq Green Cleaning Policy	0 / 0	
Credit Indoor Environmental Quality Performance	15 / 20	
Credit Integrated Pest Mgmt	1 / 1	
Credit Green Cleaning	1 / 1	
<b>INNOVATION</b>	<b>AWARDED: 1 / 1</b>	
Credit Innovation	1 / 1	
<b>LOCATION &amp; TRANSPORTATION</b>	<b>AWARDED: 13 / 14</b>	
Credit Transportation Performance	13 / 14	
<b>TOTAL</b>	<b>67 / 100</b>	

40-49 Points CERTIFIED    50-59 Points SILVER    60-79 Points GOLD    80+ Points PLATINUM

Şekil 2: Tuzla Baymak fabrika yapısı LEED-EB O+M skor tablosu [18].

Şekil 2’ye göre sürdürülebilir arazi kategorisinden 2/4, su verimliliği kategorisinden 8/15, enerji ve atmosfer kategorisinden 21/35, malzeme ve kaynaklar adlı kategoriden 5/9, iç mekan çevre kalitesi kategorisinden 17/22, inovasyon (yenilik) kategorisinden 1/1, konum ve ulaşım kategorisinden 13/14 puan almıştır. Toplamda yapı 100 üzerinden 67 puan ile LEED Gold (60-79) sertifikasını almaya hak kazanmıştır.

LEED-EB O+M- SS (sürdürülebilir siteler) değerlendirme kategorisine göre arazi en iyi çevre verimi ile doğaya kazandırılmalıdır [7]. Fabrikanın 2025 yılı için büyüme hedefi söz konusudur ve bu sebeple rezerv alan oluşturulmuştur. Üretim alanı esnek tasarlanmış ve mekanda değişiklik yapılmasına izin verecek niteliktedir. Fabrikanın konumu toplu taşımaya uygun olmaması sebebiyle çalışanlara servis ile ulaşım imkanı sunulmuştur. Böylelikle çalışanların özel araç kullanımının önüne geçmek, karbon ayak izini düşürmek ve çevreye olumlu katkı sağlamak amaçlanmıştır.

LEED-EB O+M- WE (su verimliliği) değerlendirme kategorisi; yapıların yapım ve kullanım aşamasında harcanan veya harcanacak olan suyun etkin kullanımı ve doğaya geri kazandırılması için belirlenen koşullar çerçevesinde inşa edilen yapılar ve mevcutta bulunan yapılar için alınan puan değerini hesaplama sistemidir [7]. Baymak üretim tesisinde ve ofislerinde şebeke suyu tüketimi mevcuttur. Fabrika, su tüketimini belirli periyotlarda takip ederek su yönetimini en verimli hale getirmeyi hedeflemektedir. Su tüketimi giderek azaltılmış olup 2020’de 63338 m<sup>3</sup>, 2021’de 41064 m<sup>3</sup> ve 2022’de 34570 m<sup>3</sup>’tür. Su tüketimi 2022 yılında yaklaşık %16 oranında azaltılmıştır. Ek olarak, tasarlanan Emma boyahane banyo otomatik su doldurma ve kesme sistemi

ile yıllık 1462 m<sup>3</sup>'lük su tasarrufu gerçekleştirmek hedeflenmektedir. Fabrikada, Yeşil Ofis Programı çerçevesinde, su kaynaklarını daha sürdürülebilir bir şekilde kullanmak amacıyla çeşitli önlemler alınmıştır. Buna örnek olarak; geleneksel musluklardan sensörlü musluklara geçilmiş, tuvalet sifon haznelerinin su kullanımını 2 litre ve 4 litre olacak şekilde değiştirilmiş ve musluk başlarına perlatörler ekleyerek su basıncı düşürülmüştür. Ayrıca fabrika İSKİ atıksu deşarj yönetmeliği ve ilgili bakanlık mevzuatına uygun olarak, atıksu deşarjını gerçekleştirmektedir. Bu çerçevede, atıksu deşarjı yapmadan önce ölçümler yapılarak belirlenen standartlara uygunluk sağlanmaktadır [13].

LEED-EB O+M- EA (enerji ve atmosfer) değerlendirme kategorisi; enerji verimliliği ve enerjinin etkin kullanımını amaçlar [7]. Fabrika 2016 yılından bu yana ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi'ne sahip olup enerji tüketimini takip ederek ölçmekte, izlemekte ve sürekli iyileştirme kapsamında atacağı adımları belirlemektedir. 2022'de yapılan iyileştirmeyle fabrikadaki tüm elektrik tüketimi WebView sistemiyle izlenmekte olup anlık artışlar, değişimler takip edilmektedir. Bölüm bazlı tüm hatlara doğal gaz sayaçları bağlanmış olup aylık olarak izlenmekte ve tüketimler kaydedilmektedir. Fabrikadaki enerji tüketiminin azalması için yapılan çalışmalar sonucunda, 2021 ve 2022 yıllarına ait enerji tüketimleri ve bu süreçte ürün başına harcanan enerji miktarındaki değişim yüzdeleri Çizelge 2 (a)'da mevcuttur.

2022'de satın alınan "Co2nnectorPro" programıyla sera gazı emisyonları sistemsel olarak hesaplanmakta ve takip edilmektedir. 2022'de, önceki yıla kıyasla üretim tesisi ve idari yapıda doğal gaz harcamaları azaltılmış ve firma araçlarında rota optimizasyonu sağlanmıştır. Bu sayede fabrika, 2022 yılında bir önceki yıla göre CO<sub>2</sub> emisyonlarını 307 ton düşürerek %10,9 oranında azaltmayı başarmıştır. Yıllara göre sera gazı emisyon değeri ölçüm sonuçları Çizelge 2 (b)'de görülmektedir [13].

**Çizelge 2 (a) ve (b):** Yıllara göre ürün başına enerji iyileştirmesi ve sera gazı emisyonları ölçüm sonuçları [13].

Ürün	2021	2022	Ürün Başına Enerji İyileştirmesi (MWh/ürün)	Sera Gazı Emisyon Değeri Ölçüm Sonuçları		
				Yıl	Değer (tonCO <sub>2</sub> e)	Değişim oranı (%)
Termosifon	0,0816	0,07618	-6,64%	2019	2517	-
Kazan	0,0206	0,01611	-21,80%	2020	2908	15,53
Kombi	0,43227	0,36674	-15,16%	2021	2817	-3,13
Boyer	0,15827	0,15784	-0,27%	2022	2510	-10,9
Hidrofor	0,04221	0,04045	-4,17%			

Aynı kategori kapsamında, Fotoğraf 4 (a) ve (b)'de görülen; çatıdaki fotovoltaik güneş panelleriyle, 2021'de 86 kW olan kapasiteyi 2022'de 216 kW'a çıkararak yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisi artırılmıştır. Bu sayede, 2022 yılında tüketilen elektrik enerjisinin %5'i PV sisteminden sağlanmıştır. Fabrika, gerçekleştirdiği tüm enerji verimliliği çalışmalarlarıyla 2022 yılında 2021'e göre 258841 kWh daha az elektrik satın alımı gerçekleştirmiştir. Böylece satın alınan elektrik enerjisinden %5,3 tasarruf sağlanmıştır. Gerçekleştirilen enerji verimliliği çalışmalarlarıyla, 2022 yılında doğal gaz tüketimi 2041171 kWh azaltılarak %17 tasarruf sağlanmıştır [13]. Fabrikada 2023 yılında 222118 kWh elektrik üretilmiş olup tüm fabrika da LED aydınlatma sistemine geçilerek aydınlatma alanında %72 tasarruf sağlanmıştır.



**Fotoğraf 4 (a) ve (b):** Fabrika çatısında yer alan fotovoltaik panel sistemleri (mavi) [13] [15].

LEED-EB O+M- MR (malzeme ve kaynaklar) değerlendirme kategorisine göre fabrika, atık yönetimi kapsamında 2021 yılında Sıfır Atık Yönetimi Belgesi almıştır. Atıklar, kaynağında ayrıştırılarak oluşan atığın %89'unun geri kazanımı veya yeniden kullanımı sağlanmaktadır. Böylelikle, çevre kirliliğinin engellenmesine ve doğal kaynakların muhafaza edilmesine katkıda bulunmaktadır. Fabrika, Yeşil Ofis Diploması kapsamında 159 kg plastik geri dönüşümü ile 918 kWh enerji tasarrufu sağlamış, 222 kg atık kağıt geri dönüşümü ile 39,29 kg sera gazının salımını önlemiş, 910,2 kWh enerji tasarrufu sağlamış ve 390 kg cam atık geri dönüşümü ile 11,7 kg sera gazının doğaya salımını engellemiştir. Mart 2021 itibarıyla; I-REC (International Renewable Energy Certificate- Uluslararası Yenilenebilir Enerji Sertifikası) sertifikalı elektrik satın alarak elektrik tüketimini yenilenebilir kaynaklardan karşılamaktadır. Tekrar kullanılabilir plastik kasayla parça taşıma sistemine geçiş ile birlikte yılda 60 ton kağıt tüketimi azaltılmıştır [13].

Sıfır atık yaklaşımı kapsamında, ofis katında masa altı çöp kovaları kaldırılmış ve ortak alanlara geri dönüşüm atık kutuları yerleştirilmiştir. Böylece hem atıkların geri kazandırılması sağlanmış hem de çöp poşeti kullanımı kaynaklı plastik oranı %95 azaltılmıştır. Ofiste geri dönüştürülmüş kağıt kullanımına geçilmiş ve ofiste kullanılan yazıcılara "Ecofont" seçeneği tanımlanmıştır. Bu sayede toner kullanımı %60 oranında azaltılmıştır. Ayrıca ofis katında pet su şişesi ve karton bardak kullanımı kaldırılmış ve atık sifıra indirilmiştir. Üretim aşamasındaki boya sürecinde ortaya çıkan atık boya elek sistemi kullanılarak üretime tekrar kazandırılmaktadır. Atık boyanın yaklaşık %70'ini tekrar kullanırken kaliteden hiçbir ödün verilmeden m<sup>2</sup> başına düşen boyada %33 maliyet avantajı sağlanmıştır. Tedarikçilerden gelen ürünlerin taşıma sürecinde karton ambalaj yerine tekrar kullanılabilir plastik kasaların kullanımına geçilmiş ve ortaya çıkan karton ambalaj atığı engellenmiştir [13]. Gıda atıkları hariç diğer atıkların 2021 ve 2022 yıllarına ait miktarları ve bu miktarlar arasındaki farklar Çizelge 3 (a)'da gösterilmiştir.

Yemekhaneden çıkan organik atıklardan (sebze meyve kabukları) kompost gübre yapılmaktadır. Çıkan kompostun bir kısmı fabrika bahçesinde gübre olarak kullanılmaktayken bir kısmı da talep eden çalışanlara ve belediyelere verilmektedir. Servis edilmeyen pişmiş yemekler ise fabrika çevresindeki hayvan dostlarımızla paylaşılmaktadır. Bu uygulamalar sayesinde gıda atıkları değerlendirilmektedir [13]. 2021-2023 yılları dahil olmak üzere bu süreçte; 12666 ton organik atık kompostta çevrilmiş, 16782 ton atık hayvanlarla paylaşılmış ve son üç yılda toplamda %57,56 oranında organik atık değerlendirilmiştir (Çizelge 3 (b)).

**Çizelge 3 (a) ve (b):** Yıllara göre atık çeşitleri, atık miktarı ölçüm sonuçları ve atık oranları [13].

Atıklar (kg)	2021	2022	Fark
Karışık malzeme (kağıt + plastik)	381985	317915	64070
Ahşap	212940	235970	-23030
Metal	202304	180541	21763
Diğer atıklar	54367	68795	-14428
Kimyasal atıklar	19890	27027	-7137
Ürün (elektrikli ekipman)	11162	4894	6268
Komponent	5803	925	4878
Cam	5000	920	4080
Pil	1606	565	1041
<b>TOPLAM</b>	<b>895057</b>	<b>837552</b>	<b>57505</b>

Atıklar ve oranları (kg)	2021	2022	2023	Toplam
Toplam organik atık	9657	23816	17690	51163
Kompost için	1248	4878	6540	12666
Hayvanlar için	2689	8063	6030	16782
Değerlendirme oranı (%)	40,77	54,34	71,06	57,56

2023 yılından itibaren yemekhanede kızartma yerine fırınlama tekniğine geçilmiş ve yağ oluşumu %12 azaltılmış olup tüm fabrikada organik temizlik ürünleri kullanılmaya başlanmıştır. Böylece yılda 3395 litre kimyasal tasarrufu sağlanmıştır. 2023 yılında üretimden çıkan 3,53 ton izolasyon malzemesi atığı Kars'ta bulunan susuz hayvan barınağına gönderilerek yeniden değerlendirilmesi sağlanmıştır.

LEED-EB O+M- IEQ (iç mekan çevre kalitesi) değerlendirme kategorisi; yapının içindeki yaşam alanını kullanıcıların en iyi konfor ile kullanmalarını sağlayan kategoridir. Bu değerlendirmelere uyulması ile mekan içindeki yaşam alanı kalitesi artırılır [7]. Fabrika yapısının en çok puan alan LEED kategorilerinden biri olan iç mekan çevre kalitesini sağlamak için çeşitli HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning/ Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme) sistemlerinden destek aldığı bilinmektedir. Baymak Genel Müdürlük'te yer alan iklimlendirme sistemlerinin optimizasyonu ve salgın hastalıklara karşı daha etkili hale getirilmesi için çalışmalar yürütülmüştür. Sistemin daha verimli hale getirilmesi ve sağlık açısından çok önemli olan temiz hava akışının kesintisiz bir şekilde sağlanabilmesi amacıyla fan ve egzoz devreleri ayrılarak sistem genelinde kayda değer iyileştirme gerçekleştirilmiştir [17]. Fabrikada termal ölçüm sonucu, ısı kaçakları belirlenerek çeşitli iyileştirmeler yapılmıştır. İç mekan uygun ısı ve nem koşulları üretim bölümünde radyant ısıtıcılar ile sağlanırken; ofis bölümünde VRF (Variable Refrigerant Flow- Değişken Debili Soğutucu Akışkan) sistemi tercih edilmektedir. %100 yenilenebilir enerji kullanıldığı için VRF sisteminin kullanımı emisyonunun azaltılması açısından oldukça önemlidir. Ofis odalarının ısıtma ve soğutma kontrolü oda bazlı ayarlanmıştır. Üretim sırasında çıkan rahatsız edici gazların tahliyesi için baca sistemleri mevcuttur. Genel ve lokal aspirasyon sistemlerinin yılda bir periyodik kontrolleri yaptırılmaktadır. Yapılan ölçümler neticesinde ihtiyaç duyulan iyileştirme noktaları için mühendislik çözümleri geliştirilmekte ve uygulanmaktadır. Ayrıca fabrikanın iç mekan hava kalitesi ölçülmekte ve bu ölçümlerde CO<sub>2</sub> (ppm) ile TVOC (Total Volatile Organic Compounds- Toplam Uçucu Organik Bileşik) (mg/m<sup>3</sup>) değerlerine bakılmaktadır. Bu kapsamda, ortam ve kişisel maruziyet ölçümleri iki yılda bir yapılmaktadır. Fabrikada akustik konforu sağlamak için; gürültü ve titreşim oluşturan makineler için İSG (İş Sağlığı ve Güvenliği) mevzuatı kapsamında iki yılda bir ölçümler yapılmaktadır. Yüksek ses seviyesine sahip makine ekipmanlar için ses izolasyon kabini mevcuttur.

LEED-EB O+M- LT (konum ve ulaşım) değerlendirme kategorisine göre; özel araç kullanımının azaltılması ile çevreye verilen zayıatın en aza indirilmesi amaçlanmaktadır [7]. Fabrika yerel tedarik konusuna önem vermektedir. 2022 yılında 207 tanesi yerel olmak üzere 322 tedarikçiyle çalışmış ve yerel tedarikçi oranını %64'e çıkarmıştır. Üretimde kullanılan malzemelere ilişkin gerçekleştirilen satın alma bütçesinin yaklaşık %48'ini firmanın yerel tedarikçileri oluşturmaktadır. Yerel tedarikçilere geçiş ile nakliye mesafeleri kısalmıştır. Bu sayede, 51700 km araç nakliyesi ve 193 ton CO<sub>2</sub> emisyonu engellenmiştir. 2022 yılı ve sonrasında, kaynak işlemi, kombi gövde robotik lazer kaynak uygulaması ile fabrika içinde uygulanmaya başlanmıştır. Tedarikçilerden gelen gövdeler demonte olarak taşındığı için daha az yer kaplamaktadır. Bu sayede 65000 km araç nakliyesi engellenmiş ve 365 ton CO<sub>2</sub> salımının önüne geçilmiştir [13].

LEED-EB O+M- IN (yenilik) değerlendirme kategorisi yapılarıdaki yenilik performansını artırma ve koruma amaçlıdır. LEED-EB O+M- RP (bölgesel öncelik) değerlendirme kategorisi, coğrafi anlamda belli çevresel, halk sağlığı ve sosyal eşitlik önceliklerini benimseyen kredilerin elde edilmesi için bir öncülük yapmaktır [7]. Konum ve ulaşım kategorisinde bahsi geçen konular bu başlık için de geçerlidir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Mevcut yapıların enerji etkin iyileştirme stratejilerine uygun olarak iyileştirilmesi, enerji ve kaynak kullanımını azaltarak; doğal kaynakların korunmasına, enerji giderlerinin azalmasına ve böylelikle ülke ekonomisine katkı sağlamaktadır. Mevcut yapıların, durum tespitinin bilirkişiler tarafından yapılmasının ardından; disiplinler arası bir çalışma ile tüm yapı fonksiyonları (konut, eğitim, sağlık yapıları gibi) enerji ve kaynakları bilinçli kullanabilen ve çevreye olumsuz etkisi azaltılmış yapılar haline gelebilmektedir. Günümüzde; artan sanayileşme ve kentleşmeyle birlikte insanların çevre üzerindeki sorumlulukları da artmaktadır. Bu sebeple kaynakların sonraki nesillere aktarılabilmesi için bilinçli kullanılması gerekmektedir. Endüstri yapılarının enerji etkin tasarımı ve/veya enerji etkin iyileştirilmesi de bu anlamda önemlidir.

Çalışmada, mevcut yapıların iyileştirilmesinin önemi vurgulanmış; yapılan çeşitli çalışmaların ve alınan önlemlerin, mevcut endüstri yapılarının kaynak kullanımına ne gibi katkılar sağladığı sayısal değerlerle örnek bir proje üzerinden aktarılmıştır. Çalışmanın, mevcut endüstri yapılarının iyileştirilmesine yönelik bir örnek teşkil etmesi açısından literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Gerçekleştirilen çalışmalar neticesinde, vaka incelemesi yapılan fabrika yapısı için bazı önerilerde bulunulmuştur:

- Yağmur suyunun toplanması sağlanabilir ve sulama suyu olarak kullanılabilir.
- Tercih edilen tefriş ve mobilyaların, sürdürülebilir malzeme ve üretim teknikleri ile üretilmiş olmasına dikkat edilebilir.
- Endüstriyel atık su değerlendirilebilir.
- Gıda ve içecek satın alımlarında yeşil tarım uygulaması ile üretilmiş ürünler kullanılabilir.
- Yapılacak her türlü tadilatla gezegene zarar vermeyen, ekolojik uygulamalar tercih edilebilir.
- Kullanıcı konforu anketi yapılarak, sorunlar tanımlanabilir ve çözümlenebilir.
- Mevcutta, servis ve özel araçlarla erişim sağlanabilen bu yapı için; belediye ile irtibata geçilerek toplu taşıma araçları olanaklı hale getirilebilir.

## KAYNAKLAR

1. S. B. Erdede, B. Erdede & S. Bektaş, “Sürdürülebilir yeşil binalar ve sertifika sistemlerinin değerlendirilmesi”, *Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2014)*, 14(17), (2014), pp: 17-32.
2. G. Özer, “Endüstriyel alanların enerji performanslı tasarlanmasına yönelik bir model yaklaşımı; Konya oto sanayi yerleşkesi örneği”, *Doktora Tezi*, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, (2019).
3. K. Khadali, “Türkiye’deki sürdürülebilir üniversite kampüs yapılarının LEED sertifikası kapsamında incelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Avrasya Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, (2022).
4. E.G. Yetkin, “Mevcut yapılar kapsamında yeşil bina sertifika sistemleri enerji kriterlerinin belirlenmesi için LEED, BREEAM ve DGNB sistemlerinin karşılaştırmalı analizi”, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ FBE, (2014).
5. A. Öztürk, “Yeşil bina sertifikasyon sistemlerinin analizi”, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Enerji Enstitüsü, (2015).
6. H. Taşdemir, “Sürdürülebilir yeşil binaların LEED sertifikasına göre irdelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Aydın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, (2021).
7. E. Karasu, “Sürdürülebilir yeşil bina sertifika sistemleri kapsamında geliştirilecek iyileştirmelerin bina enerji performansına etkisi: Babaeski Bahçekent Konutları örneği”, *Yüksek Lisans Tezi*, Trakya Üniversitesi FBE, (2023).
8. LEED Sertifikası, LEED Mevcut Bina Kredi Başlıkları, <https://www.xn--leedsertifikas-jgc.com/sertifika-sistemleri/mevcut-binalar/>, (Erişim Tarihi: 19.03.2023).
9. İ. H. Orhan, “Mekansal planlama açısından LEED belgeli yeşil binalar: Antalya’da bir otel örneği”, *Yüksek Lisans Tezi*, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2019).
10. USGBC, LEED Credit Library, <https://www.usgbc.org/credits/?Version=v4.1> (Erişim Tarihi: 08.03.2024).
11. S. Kaymaz, “Endüstri yapılarının sürdürülebilirliğinin Bursa’da bir endüstri yapısına LEED sertifika sistemi değerlendirmesi üzerinden incelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, UÜ FBE, (2017).
12. USGBC, How LEED works, <https://www.usgbc.org/leed>, (Erişim Tarihi: 20.03.2024).
13. Baymak Sürdürülebilirlik Raporu, (2022), <https://www.baymak.com.tr/surdurulebilirlik/surdurulebilirlik-raporlari> (Erişim Tarihi: 04.02.2024).
14. Baymak BDR Therma Group, Baymak Hakkında, <https://www.baymak.com.tr/hakkimizda> (Erişim Tarihi: 07.02.2024).
15. Google Maps (Erişim Tarihi: 22.03.2024).
16. Poltek Metal San. Tic. A.Ş., Neden Kompozit Panel? <https://poltekmetal.com/neden-kompozit-panel/>, (Erişim Tarihi: 24.03.2024).
17. Dansuk Mühendislik, Baymak Genel Müdürlük Binası, <https://www.dansuk.com.tr/is/baymak-genel-mudurluk-binası/#next>, (Erişim Tarihi: 20.03.2024).
18. USGBC, Baymak Makine Sanayi Ticaret A.Ş., <https://www.usgbc.org/projects/baymak-makine-sanayi-tic> (Erişim Tarihi: 05.02.2024).



# **AYNI İKLİM SINIFINDAKİ YAPI KABUĞUNUN ISI YALITIM DEĞERİNİ BELİRLEYEN ÖZELLİKLERİN İLGİLİ MEVZUATLARA GÖRE KARŞILAŞTIRILMASI: PORTEKİZ, İSPANYA, İTALYA ve TÜRKİYE ÖRNEĞİ**

Şafak Beşiroğlu<sup>1</sup>  
Nuri Serteser<sup>2</sup>  
İTÜ Mimarlık Fakültesi, Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

## **ÖZET**

*İklimsel etkilerin yarattığı olumsuzlukları sınırlamak için ülkeler, binaların enerji performanslarını garanti altına alacak düzenlemeler üzerinde çalışmaktadır. Yapı kabuğunun ısı yalıtım değerini belirleyen özelliklerde sınırlamaya gitmek, bu düzenlemelerin başında gelmektedir. Yapı kabuğunun ısı yalıtım değerini belirleyen özellikler iklime göre belirlenmektedir; dolayısıyla iklim sınıflandırmaları ve mevzuatlarda bu açıdan dikkate değer farklılıklar görülmektedir. Bu çalışma, aynı iklim sınıfında şehirleri bulunan dört ülkenin yapı kabuğunun ısı performansıyla ilgili mevzuatlarına genel bir bakış sunmaktadır. Lizbon, Madrid, Roma ve İstanbul'un iklim özellikleri göz önünde bulundurularak bir konut bloğu için sayısal bir benzetim yapılmıştır. İklim ve yasal düzenlemelerin enerji tüketimi üzerindeki etkilerini analiz etmek için aydınlatma, ısıtma-soğutma yükleri ve güneş kazanım değerleri karşılaştırılmıştır. Aydınlatma ve ısıtma yükleri açısından İstanbul, soğutma yükleri karşılaştırıldığında Madrid'in daha fazla enerji tükettiği görülmektedir. Toplamda İstanbul diğer şehirlere oranla daha fazla tüketim miktarına sahiptir. İncelenen dört şehir için de toplam yüklerde ısıtma enerjisinin büyük paya sahip olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, enerji tüketim miktarları arasında farklar olduğu anlaşılmaktadır. Enerji tüketimlerine ilişkin analizler, aynı iklim sınıfında olmalarına rağmen farklı ülkelerdeki binaların farklı enerji performanslarına sahip olduğunu göstermektedir. Yapılan çalışmada uygulanan mevzuatların iklimle etkileşimi ortaya konulmaktadır. Mevzuatların birbirine referans olması, binalarda enerji tüketimini ve küresel enerji açığını azaltmaya yönelik ortak adımların atılmasına katkı sağlayacaktır.*

*Anahtar sözcükler: Yapı kabuğu, Isıl iletkenlik, Kabuğun ısı yalıtım değeri, Isıtma-soğutma yükleri*

## **ABSTRACT**

*In order to limit the negative effects of climatic impacts, countries are working on regulations to guarantee the energy performance of buildings. Limiting the properties that determine the thermal insulation value of the building envelope is one of these regulations. The properties that determine the thermal insulation value of the building envelope are determined by climate; therefore, there are significant differences in climate classifications and legislation in this respect. This study provides an overview of the legislation on the thermal performance of the building envelope in four countries with cities in the same climate class. A numerical simulation is performed for a residential block considering the climatic characteristics of Lisbon, Madrid, Rome and Istanbul. Lighting, heating-cooling loads and solar gain values are compared to analyze the effects of climate and regulations on energy consumption. It is seen that heating energy has a large share in total loads for all four cities analyzed. As a result, it is understood that there are differences between the energy consumption amounts. The reference of the legislation to each other will contribute to taking common steps to reduce energy consumption in buildings and the global energy deficit.*

*Keywords: Building envelope, Thermal conductivity, Thermal insulation value of the envelope, Heating-cooling loads*

<sup>1</sup> e-posta adresi: besiroglu18@itu.edu.tr

<sup>2</sup> e-posta adresi: serteser@itu.edu.tr

## 1.GİRİŞ

Enerji tüketiminin gün geçtikçe artması ve iklim değişikliği, dünyanın geleceğiyle ilgili büyük kaygılara neden olmaktadır. Küresel enerji tüketiminin %40'ını binalar oluşturmaktadır [1]. Ayrıca kullanılan enerjinin fosil yakıtlardan elde edilmiş olması durumu daha da kritik hale getirmektedir. Giderek artan bozulmayı önlemek için 2015 Paris İklim Konferansı'nda toplam 195 ülke 2050 yılı perspektifinde sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltma taahhüdünde bulunmuştur. Bu ülkelerden çoğu binalarda enerji tüketimini %90 oranında azaltmak gibi zorlu bir hedefi de kabul etmiştir [2, 3, 4]. Hükümetler, binalarda uygun enerji performansını yakalamak için çeşitli sınırlamalarla mevzuatları yeniden ele almaktadır. Binaların özellikleri arasında denge noktası sıcaklıkları, iklimsel stratejiler, enerji etkin yaklaşımlar, yapı kabuğunun ısı yalıtım değeri, ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) sistemleri enerji tüketimini oldukça büyük bir oranda etkilemektedir [5, 6, 7, 8, 9].

Mevzuatlarda, vaktimizin çoğunun geçtiği konutlardaki enerji tüketiminin sınırlandırılmasına özellikle önem verilmelidir [10]. Yapı kabuğunun ısı yalıtım değerini belirleyen özelliklerde sınırlamaya gitmek bu düzenlemelerin başında gelmektedir. Avrupa Parlamentosu ve konseyinin 19 Mayıs 2010 tarihinde binaların enerji performansına ilişkin 2010/31/UE direktifi bulunmaktadır [11]. 2010/31/UE direktifinin öne çıkan kararları arasında 31 Aralık 2020'den itibaren tüm yeni binaların neredeyse sıfır enerjili binalar (nZEB) olması gerektiği yer almaktadır. Avrupa ülkelerindeki çoğu düzenleme, kendi iklim bölgelerinin koşullarına göre yapı kabuğunun ısı yalıtım değerini belirleyen özelliklerle ilgili gereklilikleri belirlemektedir [12]. Buna ilişkin teknik gerekliliklerde, uygun değeri sağlamak adına ülkeler arasında dikkate değer farklılıklar görülebilmektedir.

## 2. YÖNTEM

Bu çalışmada Design Builder programı ile inceleme amaçlı seçilen Lizbon, Madrid, Roma ve İstanbul'un iklim verileri göz önünde bulundurularak bir konut bloğunun sayısal benzetimi yapılmıştır. İklimin ve yasal düzenlemelerin enerji tüketimi üzerindeki etkilerini analiz etmek için dört ülkedeki bu şehirler için aydınlatma, ısıtma ve soğutma yükleri ve güneş kazanım değerleri karşılaştırılmıştır. İklim girdisi sabit alınarak yapı kabuğunu oluşturan malzemelerin kalınlıklarında değişiklikler yapıldığında, kabuğun ısı geçirgenlik değerlerinde ülkelerin kendi mevzuatlarına göre farklı sonuçlar elde edilmiştir.

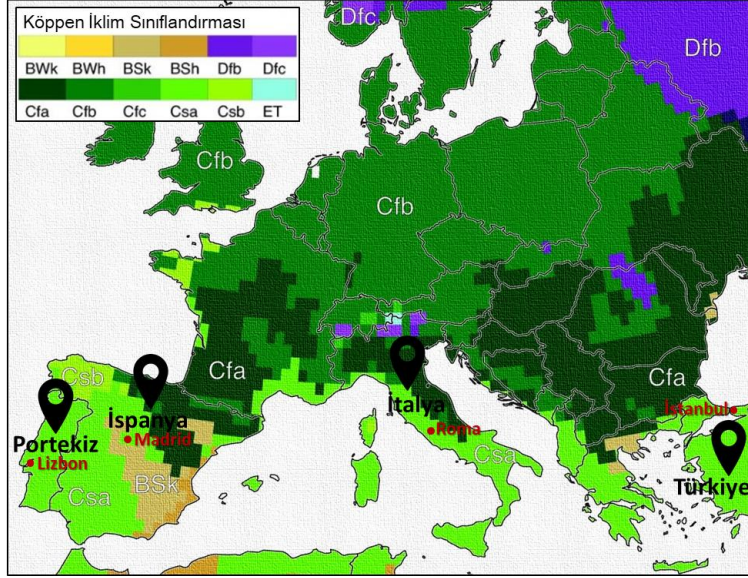
### 2.1. İklim

Mevzuatları incelenen Portekiz, İspanya, İtalya ve Türkiye'de Köppen-Geiger İklim Sınıflandırması'na göre birbirinden farklı iklim tiplerinin görüldüğü şehirler yer almaktadır. Bu sınıflandırmada dünya üzerinde karşılaşılabilecek iklimler harfler kullanılarak ifade edilmiş; bölgenin ana iklim karakteristiği A'dan E'ye dek harflerle simgelenirken yağış ve sıcaklık özellikleri küçük harfler kullanılarak tarif edilmiştir [13]. Bu sınıflandırma içinde Csa iklim sınıfı, Akdeniz iklimini temsil etmektedir. Csa iklim sınıfında yaz ayları boyunca bölgede sıcaklık yüksektir ve yağış miktarı oldukça sınırlıdır. Yaz döneminde uzun süren kurak bir mevsim yaşanabilir. Kışlar ise ılıman ve yağışlıdır [13]. Portekiz, İspanya, İtalya ve Türkiye'de Csa iklim sınıfında karşılık gelen şehirler Çizelge 1'de görülmektedir.

**Çizelge 1:** Portekiz, İspanya, İtalya ve Türkiye’de Csa iklim sınıflandırmasında bulunan şehirler [14]

Portekiz	İspanya	İtalya	Türkiye
Faro	Barselona	Siracusa	Antalya
Lizbon	Madrid	Lecce	İzmir
	Palma de Mallorca	Roma	İstanbul

**Şekil 1**’de hazırlanan haritada Köppen-Geiger sınıflandırmasına göre incelenen dört ülkenin iklim bölgeleri görülmektedir.



**Şekil 1:** Portekiz, İspanya, İtalya ve Türkiye’nin Köppen-Geiger sınıflandırmasına göre iklim bölgeleri

Csa ikliminin bu belirgin özellikleri binaların ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarını dolayısıyla toplam yıllık enerji tüketimini etkiler. Sıcak ve kurak yaz ayları, bina iç ortam sıcaklığını yükseltir; bu da binaların daha iyi bir ısı yalıtımına sahip olmasını gerektirir. İyi bir ısı yalıtımı enerji tasarrufu sağlarken doğru bir güneş ışığı yönetimi iç mekan konforunu artırabilir. Güneş ışınlarının yoğun olduğu yaz aylarında güneş enerjisinden yararlanmak için güneş panellerinin kullanımı teşvik edilebilir. Mevzuatlar, bu noktada ülke ölçeğinde uyulması gereken kuralların asgari sınırlarını belirlemesi bakımından önemlidir.

## 2.2. Mevzuat

Çalışma kapsamında Csa iklim sınıfında bulunan ve inceleme amaçlı seçilen Lizbon 38°, Madrid 40°, Roma ve İstanbul 41° kuzey enlemlerinde yer almaktadır. Seçilen şehirlerin dünya haritası üzerindeki konumları **Şekil 2**’de görülmektedir.



Şekil 2: Lizbon, Madrid, Roma ve İstanbul'un dünya üzerindeki konumları

Lizbon şehri Portaria 379-A standardına göre kış ve yaz için birinci bölgede yer almaktadır [15]. Madrid şehri CTE'de yer alan iklim sınıflarında yaz ve kış için D sınıfındadır [16]. Roma M.D. 26/06/2015 kararnamesinde ısıtma günlerine göre belirlenen D bölgesinde bulunmaktadır [17]. İstanbul ise TS 825'teki derece-gün bölgelerine göre ikinci bölgededir [18]. Bu dört şehrin iklim verisine göre yapı elemanlarının toplam ısı geçirme katsayıları (U), yıllık metrekare başına düşen enerji tüketim miktarları ve beklenen enerji sınıflarının belirlendiği mevzuata ait bilgiler Çizelge 2'de yer almaktadır [19, 20, 21, 22].

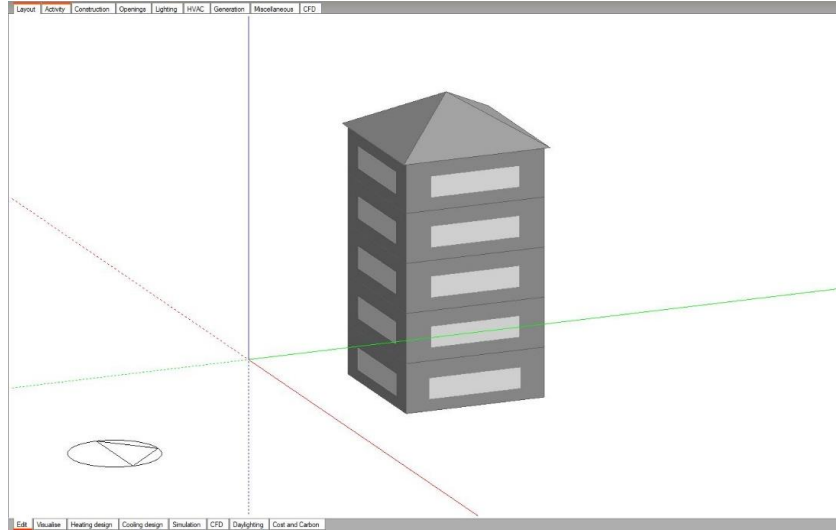
Çizelge 2: Lizbon, Madrid, Roma ve İstanbul şehirlerinin mevzuat bilgileri

Şehirler	Lizbon	Madrid	Roma	İstanbul
İklim Sınıfı	Csa: kışları ılık ve yağışlı, yazları sıcak ve kurak iklim			
Merkez Enlem (°)	38.736946	40.416775	41.902782	41.015137
Standart	Portaria 379-A	CTE	M.D. 26/06/2015	TS 825
Standarttaki Bölge	I. Bölge	D Bölgesi	D Bölgesi	II. Bölge
U değerleri (W/m <sup>2</sup> .K)				
Duvar	0.50	0.60	0.32	0.57
Tavan	0.40	0.40	0.28	0.38
Taban	0.40	0.60	0.32	0.57
Pencere	2.80	2.70	1.80	1.80
Enerji Sınıfı*	C sınıfı			
Enerji Tüketimi (kWh/m <sup>2</sup> .yıl)*	50-70	42.3-69.1	50-70	80-99

\*Bu değerler yeni inşa edilecek konut binaları için düzenlenmiştir.

### 2.3. Sayısal Benzetim Kabulleri

Sayısal benzetimler Design Builder programında, her ülke için belirli kabuller yapılarak gerçekleştirilmiştir. Dünya Sürdürülebilir Kalkınma İş Konseyi (WBCSD) tarafından hazırlanan Binaların Enerji Tüketiminde Dönüşüm için Binalarda Enerji Verimliliği raporunda, Avrupa'da konut büyüklüğü ortalama 100 m<sup>2</sup> alınmaktadır [23]. İklim bölgelerinin neredeyse çoğunda ısıtma yükü açısından kare biçimli plan en iyi sonucu vermektedir [24]. İncelemeler, çevre binalar olmadan tek konut bloğu için yapılmıştır. Şekil 3'de sayısal benzetimi yapılan binanın ekran görüntüsü yer almaktadır.



**Şekil 3:** Design Builder programında sayısal benzetimi yapılan binanın ekran görüntüsü

Kare formlu 100 m<sup>2</sup>'lik konutların yapı kabuğuna ait U değerleri, seçilen şehirlerin bulunduğu ülkelerin ilgili mevzuatlarına göre karşılaştırılmıştır. Sayısal benzetim kabulleri iklim verilerine paralel olacak şekilde ülkelerin mevzuatlarına göre belirlenmiştir. Benzetim kabulleri **Çizelge 3**'de yer almaktadır.

**Çizelge 3:** Benzetim kabulleri

	Lizbon	Madrid	Roma	İstanbul
<b>Düzen</b>	Kare formlu, 100m <sup>2</sup> , 5 katlı, kırma çatı			
<b>Aktivite</b>				
Şablon	Konut			
İnsan/m <sup>2</sup>	0.04 m <sup>2</sup>			
Isıtma	21-16 °C			
Soğutma	25-28 °C			
Havalandırma	24 °C			
Aydınlatma	150 lux			
<b>Yapı</b>				
U <sub>Duvar</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	0.50	0.60	0.32	0.57
U <sub>Tavan</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	0.40	0.40	0.28	0.38
U <sub>Taban</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	0.40	0.60	0.32	0.57
<b>Açıklıklar</b>				
U <sub>Pencere</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	2.80	2.70	1.80	1.80
Düzen	1,5 m, %30 Saydamlık oranı			
Pencere tipi	Ahşap çerçeve			
<b>Aydınlatma</b>				
Kullanım sınıfı	Konut			
Aydınlatma Kontrolü	Açık, Kademeli			
Görev ve Ekran	Açık, 8.00-18.00 Pazartesi-Pazar			
<b>HVAC</b>				
Şablon	Radyatör Isıtma, Kazan Dağıtımı, Doğal Aydınlatma			
Isıtma	Doğalgaz			
Soğutma	Elektrik			
Doğal Havalandırma	Açık			
<b>Benzetim</b>	Yıllık			







Ülkelerin mevzuatlarındaki U değerleri, yapı kabuğunda farklı malzeme ve katman kalınlıklarının kombinasyonlarıyla sağlanabilir. Bu çalışmada bir karşılaştırma yapılabilmesi için duvar, tavan ve tabanı oluşturan yapı elemanları aynı yapı malzemelerinden oluşturulmuş ve aynı sırayla katmanlaşmada yer almış; ancak malzeme kalınlıkları mevzuattaki U değerini sağlayacak şekilde düzenlenmiştir.

### 3. SAYISAL BENZETİMDEN ELDE EDİLEN BULGULAR







Sayısal benzetim yapılarak Design Builder programı ile çalışma için seçilen Lizbon, Madrid, Roma ve İstanbul'un bulunduğu ülkelerin mevzuatlarındaki kriterlere göre aydınlatma, ısıtma, soğutma yükleri, toplam yükler ve ayrıca güneş kazanımları hesaplanmıştır.

**Çizelge 4'**de Design Builder programında oluşturulan yapı elemanlarının görselleri, malzemeler ve kalınlıkları yer almaktadır.

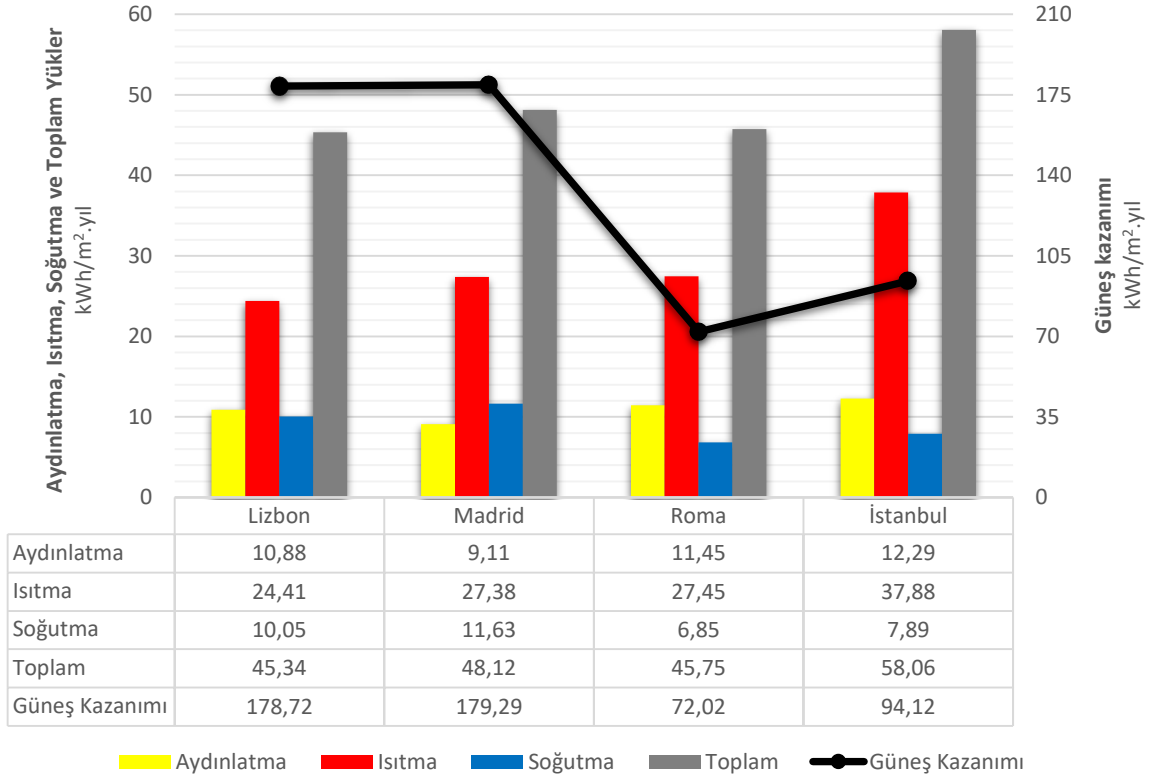
**Çizelge 4:** Farklı U değerlerine göre duvar, tavan ve taban katmanlaşmasını oluşturan yapı malzemeleri

	Duvar		Tavan		Taban	
	Tuğla	105.00mm	Kiremit	25.00mm	Ahşap	30.00mm
	Taşyünü	50.20mm	Taşyünü	92.30mm	Şap	70.00mm
	Beton	100.00mm	Membran	5.00mm	Beton	100.00mm
	Sıva	10.00mm			Formaldehit k.	72.70mm
Lizbon						
	<b>0.50 W/m²K</b>		<b>0.40 W/m²K</b>		<b>0.40 W/m²K</b>	
	Tuğla	105.00mm	Kiremit	25.00mm	Ahşap	30.00mm
	Taşyünü	38.90mm	Taşyünü	92.30mm	Şap	70.00mm
Beton	100.00mm	Membran	5.00mm	Beton	100.00mm	
Sıva	10.00mm			Formaldehit k.	39.30mm	
Madrid						
	<b>0.60 W/m²K</b>		<b>0.40 W/m²K</b>		<b>0.60 W/m²K</b>	

**Çizelge 4 (devamı):** Farklı U değerlerine göre duvar, tavan ve taban katmanlaşmasını oluşturan yapı malzemeleri

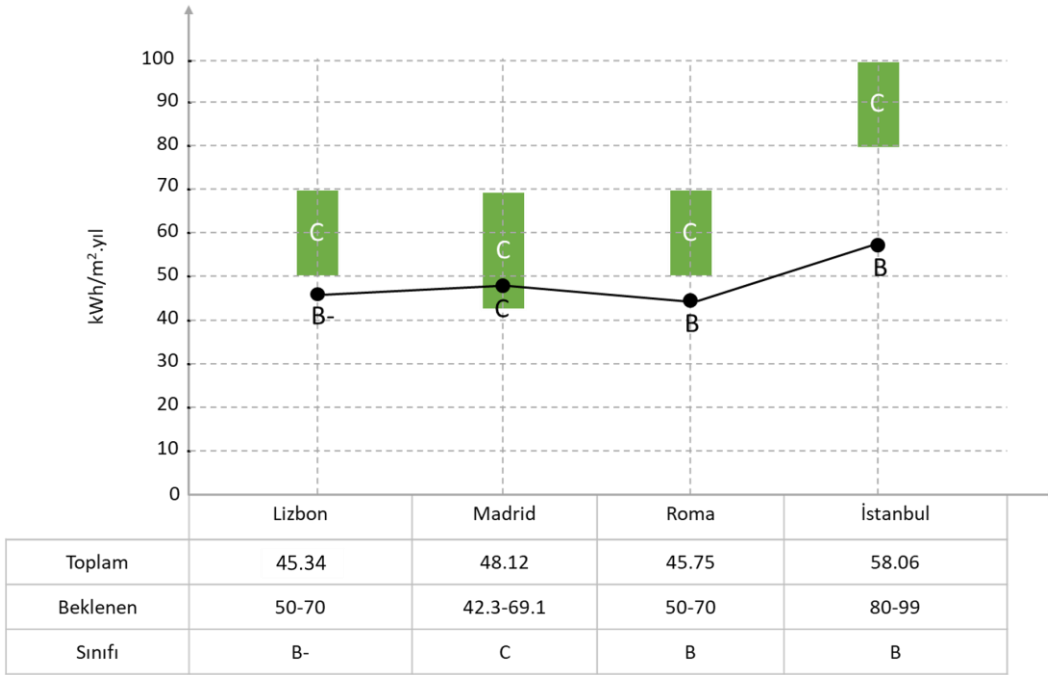
	<b>Duvar</b>		<b>Tavan</b>		<b>Taban</b>	
<b>Roma</b>	Tuğla	105.00mm	Kiremit	25.00mm	Ahşap	30.00mm
	Taşyünü	88.40mm	Taşyünü	135.20mm	Şap	70.00mm
	Beton	100.00mm	Membran	5.00mm	Beton	100.00mm
	Sıva	10.00mm			Formaldehit k.	97.70mm
						
	<b>0.32W/m²K</b>		<b>0.28 W/m²K</b>		<b>0.32 W/m²K</b>	
<b>İstanbul</b>	Tuğla	105.00mm	Kiremit	25.00mm	Ahşap	30.00mm
	Taşyünü	41.80mm	Taşyünü	97.60mm	Şap	70.00mm
	Beton	100.00mm	Membran	5.00mm	Beton	100.00mm
	Sıva	10.00mm			Formaldehit k.	42.80mm
						
	<b>0.57 W/m²K</b>		<b>0.38 W/m²K</b>		<b>0.57 W/m²K</b>	

Şekil 4’de metrekare başına düşen aydınlatma, ısıtma, soğutma ve bunların oluşturduğu toplam yüklerle göre yıllık tüketim miktarları yer almaktadır. Ayrıca güneş kazanım miktarları da şekilde görülmektedir.



Şekil 4. Aydınlatma, ısıtma, soğutma, toplam yükler ve güneş kazanım miktarları

Şekil 5’de metrekare başına düşen yüklerin beklenen enerji tüketim miktarları ile karşılaştırılması ve incelenen şehirlerin enerji sınıfları görülmektedir.



Şekil 5: Metrekare başına düşen yüklerin karşılaştırılması ve enerji sınıfları



#### 4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Aydınlatma ve ısıtma yükleri karşılaştırıldığında İstanbul diğer şehirlerden daha fazla enerji tüketirken, soğutma yükleri karşılaştırıldığında Madrid daha büyük bir tüketim sergilemektedir. Güneş kazanımı anlamında Lizbon ve Madrid şehirleri yaklaşık olarak aynı değerlere sahiptir. Roma, güneş kazanımı açısından diğer şehirlerden daha dezavantajlı durumdadır. Toplam yükler karşılaştırıldığında İstanbul diğer üç şehre oranla daha fazla tüketim miktarına sahiptir.

Aynı iklim sınıfında olmalarına rağmen ülkelerin mevzuatlarındaki farklı kriter değerler enerji tüketimi açısından farklı sonuçlar ortaya koymaktadır. İstanbul'da sayısal benzetimi yapılan konut binasının karşılaştırılan diğer şehirlerdekilere oranla daha fazla enerji tüketmesi, kabağın ısı yalıtım değerinde iyileştirme yapılması gerektiğini göstermektedir.

Tasarlanan yapı kabağı kesitleri göz önünde bulundurulduğunda, binaların enerji performansı kabuk tasarımındaki malzeme ve kalınlıklara göre farklılık göstermiştir. Bu farklılığın özellikle incelenen şehirlerdeki sayısal benzetimi yapılan konut modelinin toplam yüklerine yansıdığı görülmektedir. Metrekare başına düşen toplam yükler incelendiğinde Lizbon, Roma ve İstanbul beklenen enerji tüketim değerinin altında kalmaktadır. Madrid ise beklenen enerji sınıfına ait tüketim miktarını yakalamaktadır. Enerji sınıfları belirlenirken yıllık metrekare başına düşen tüketim göz önüne alındığında Lizbon ve Roma aynı, Madrid de bu şehirlerle görece yakın bir değere sahiptir. Lizbon yani Portekiz için C sınıfında 50-70 kWh/m<sup>2</sup>.yıl beklenirken İstanbul'da bu değer 80 kWh/m<sup>2</sup>.yıl ile 99 kWh/m<sup>2</sup>.yıl arasındadır.

Sonuç olarak; artan enerji tüketimi ve iklim değişikliğiyle birlikte daha yaşanılabilir ve sürdürülebilir bir dünya için uluslararası düzeyde yaklaşımlar giderek önem kazanmaktadır. Dünyadaki küresel enerji tüketiminin çoğunluğunu binaların oluşturduğu bilinmektedir. Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda günümüzde mimarlık, mesleğin gerekliliklerinin yanında çevresel sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği gibi konulara odaklanan bütüncül bir disiplin haline gelmiştir. Binaların enerji ihtiyaçlarının karşılanması için güneşin potansiyelinden maksimum düzeyde faydalanmak tasarımın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiş durumdadır. Uluslararası düzeyde de ortaya konulan amaçlar ve atılan adımlar ülkelerin bu konudaki politikalarını etkilemektedir. Bu bağlamda, yerel yönetmelikler ve uluslararası mevzuatlar binalarda enerji verimliliği ve çevresel uygunluk açısından gereklilikleri belirleyerek rehberlik etmektedir.

İklim ve yapı kabağı tasarımı, mevzuatların binalar üzerindeki etkisini belirleyen kritik faktörlerdir. Bölgenin iklimi, bir binanın enerji tüketimi üzerinde doğrudan etkilidir. Yapı kabağının doğru tasarlanması, binalarda enerji etkinliğini artırırken aynı zamanda çevreye verilecek zararı minimize edebilir. Bu çalışmada, Köppen-Geiger'e göre aynı iklim sınıfında bulunan Lizbon, Madrid, Roma ve İstanbul şehirlerinin farklı U değerlerine sahip yapı kabuklarının enerji tüketimine olan etkisi karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre:

- Aydınlatma ve ısıtma yükleri açısından İstanbul'un diğer şehirlerden daha fazla enerji tükettiği görülmektedir.
- Soğutma yükleri karşılaştırıldığında Madrid daha büyük bir tüketim sergilemektedir.
- Güneş kazanımı Lizbon ve Madrid'de yaklaşık aynı değerdedir. Roma ise diğer şehirlere oranla ciddi dezavantaja sahiptir.
- Roma kenti güneş kazanımı açısından dezavantajlı olduğu için düşük U değerleriyle optimum performansı yakalama eğilimindedir.

- Toplam yükler karşılaştırıldığında İstanbul diğer üç şehre oranla daha fazla enerji tüketmektedir.
- Lizbon, Madrid, Roma ve İstanbul'da toplam yük içinde ısıtma yüklerinin büyük paya sahip olduğu görülmektedir.
- Metrekare başına düşen yıllık toplam yükler değerlendirildiğinde Lizbon, Roma ve İstanbul beklenen enerji tüketiminin altında kalmaktadır.
- Dört şehirde de yeni binalarda C enerji sınıfı beklenmektedir. C enerji sınıfına giren payın yıllık metrekare başına düşen tüketim miktarları farklılık göstermektedir.

Elde edilen sonuçlar, yapı kabuğu tasarımının iklimle olan etkileşimini göstermektedir. Aynı iklim sınıfında olmalarına rağmen uygulanan mevzuatların farklılığı enerji tüketim miktarlarında farklı değerlerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. İstanbul'da sayısal benzetimi yapılan konut binasının diğer şehirlerdekilere oranla daha fazla enerji tüketmesi, yapı kabuğunun yalıtım değerini belirleyen özelliklerde iyileştirme yapılması gerektiğini göstermektedir.

Sonuçlar, aynı iklim özelliklerine sahip şehirlerin farklı U değerlerinin enerji tüketimini ne oranda etkilediğini ortaya koymaktadır. İklim ve yasal düzenlemelerin etkili bir şekilde birbirine entegre hale gelmesi çevre, toplum ve ekonomik açıdan daha sürdürülebilir bir geleceğe katkı bulacaktır. Öte yandan ülkelerin yerel mevzuatlarının birbirine referans olması, binalarda enerji tüketimini ve küresel enerji açığını azaltmaya yönelik ortak adımların atılmasına katkı sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

1. Beşiroğlu, Ş., Özmen E. (2022). Sürdürülebilir Mimarlık Kapsamında Ekolojik Bina ve Enerji Etkin Binanın Basit Toplamlı Ağırlıklandırma Yöntemi ile Karşılaştırılması, *Tasarım + Kuram*, 18 (35), 194-205. DOI: 10.14744/tasarimkuram.2022.00378.
2. CCA. (2008). *Climate Change Act*, Parliament of the United Kingdom: London, UK.
3. Ministerio de Energía (2015). *ENERGÍA 2050: Política Energética de Chile*. Santiago de Chile: Ministry of Energy, Government of Chile.
4. Ministry of the Environment. (2017). *Outline of Long-term Low-carbon Vision*; Tokyo Metropolitan Government: Tokyo, Japan.
5. Sánchez-García, D., Bienvenido-Huertas, D., Trisancho-Carvajal, M., Rubio-Bellido, C. (2019). Adaptive Comfort Control Implemented Model (ACCIM) for Energy Consumption Predictions in Dwellings under Current and Future Climate Conditions: A Case Study Located in Spain. *Energies*, 12, 1498.
6. Echarri, V. (2017). Thermal Ceramic Panels and Passive Systems in Mediterranean Housing: Energy Savings and Environmental Impacts. *Sustainability*, 9, 1613.
7. Echarri-Iribarren, V., Rizo-Maestre, C., Sanjuan-Palermo, J.L. (2019). Underfloor Heating Using Ceramic Thermal Panels and Solar Thermal Panels in Public Buildings in the Mediterranean: Energy Savings and Healthy Indoor Environment. *Appl. Sci.*, 9, 2089.
8. Park, K., Kim, M. (2017). Energy Demand Reduction in the Residential Building Sector: A Case Study of Korea. *Energies*, 10, 1506.

9. International Energy Agency. (2017). Efficiency, IEA: Paris, France.
10. Beşiroğlu, Ş., Özmen E. (2022). Yaşam Döngüsü İçerisinde Sürdürülebilir Konut Alanı Değerlendirme Sistemi: Vauban (Freiburg, Almanya) Örneği. İDEALKENT, 13 (38), 2449-2479. DOI: 10.31198/idealkent.1099393
11. European Parliament and of the Council. (2010). Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings; European Union: Brussels, Belgium, 2010; Volume 153, pp. 13–35.
12. Rodríguez-Soria, B., Domínguez-Hernández, J., Pérez-Bella, J.M., Del Coz-Díaz, J.J. (2014). Review of International Regulations Governing the Thermal Insulation Requirements of Residential Buildings and the Harmonization of Envelope Energy Loss. Renew. Sustain. Energy Rev., 34, 78–90.
13. MGM. (2016). Köppen İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye İklimi. Erişim: [https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim\\_siniflandirmalari/koppen.pdf](https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim_siniflandirmalari/koppen.pdf).
14. Url: <https://windy.app/blog/koppen-climate-classification.html>
15. Portaria 379-A/2015. (2015). Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE). Diário da República, Seri no. 194.
16. CTE. (2013). Código Técnico de la Edificación.
17. M.D. 26/06/2015, 2015. In: Italian (Ed.), Italian Ministerial Decree, “Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici”.
18. TS 825. (2013). Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Ankara.
19. EPC Portugal. (2013). Certificação Energética dos Edifícios.
20. EPC Spain. (2016). Certificados de Eficiencia Energética (CEE).
21. EPC Italy. (2015). Attestato di Prestazione Energetica Degli Edifici.
22. BEP. (2022). Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği.
23. WBCSD. (2009). Enerji Tüketiminde Dönüşüm İçin Binalarda Enerji Verimliliği. Sürdürülebilir Bir Dünya İçin Kurumsal Çözümler, İstanbul: SKD Türkiye, Haziran.
24. ISO 52016-1. (2017). Energy performance of buildings, Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads, Part 1: Calculation procedures.

## **ENGELLİ KULLANICILARIN YANGIN ANINDA TAHLİYE OLANAKLARI – YÖNETMELİKLER NE SÖYLÜYOR?**

Furkan Eruçar<sup>1</sup>  
Nuri Serteser<sup>2</sup>  
İTÜ Mimarlık Fakültesi  
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

### **ÖZET**

*Yangın, büyük ölçekli can ve mal kayıplarına neden olabilen bir afetdir. Binalarda yangın emniyetinin amacı, yangın durumunda bina kullanıcılarını korumak ve emniyetle binadan tahliyesini sağlamak için önlemler almaktır. Yangın anında kullanıcıların hızlı ve emniyetli bir şekilde yangının etkilediği alanlardan korunmuş alanlara doğru tahliyesi gerekir. Tahliye, aynı kat düzleminde yatay yönde olabileceği gibi korunumlu merdivenler ve yangın asansörleri yardımıyla dikey yönde de olabilmektedir. Yangın durumunda, fiziksel veya zihinsel yetersizlikleri olan kullanıcıların durumu sağlıklı kullanıcılara kıyasla daha büyük risk oluşturur. Bunun en büyük sebebi bu yetersizliklere sahip kişilerin acil durumların farkına varamaması, farkına varması durumunda ise tahliye için özel gereksinimlere ya da diğer kişilerin yardımına ihtiyaç duymalarıdır. Bu nedenle bu tip yetersizliklere sahip olan kullanıcıların binalardan tahliyesi özel bir önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, engelli kullanıcıların engel durumlarına bağlı olarak tahliye sürecinde gereksinimleri ve bu kullanıcılara yönelik binalarda yapılabilecek düzenlemeler ulusal ve uluslararası yönetmelikler bağlamında incelenecek, yönetmeliklerin eksik kaldığı noktalara çeşitli önerilerde bulunulacaktır.*

*Anahtar sözcükler: Bina yangını, Bina tahliyesi, Engelli kullanıcı, Yangında engelli tahliyesi*

### **ABSTRACT**

*Fire is a disaster that can cause large-scale loss of life and property. The purpose of fire safety in buildings is to take measures to protect building users in case of fire and to ensure their safe evacuation from the building. In case of fire, users must be evacuated quickly and safely from fire affected areas to protected areas. Evacuation can be in horizontal direction on the same floor level or in vertical direction with the help of protected stairs and fire elevators. In case of fire, the situation of users with physical or mental disabilities poses a greater risk than healthy users. The main reason of this is that people with disabilities may not be able to recognize emergencies, and if they do, they may need special needs or the help of other people for evacuation. Therefore, evacuation of users with such disabilities from buildings gains special importance. In this study, the requirements of disabled users in the evacuation process depending on their disabilities and the arrangements that can be made in buildings for these users will be examined in the context of national and international regulations, and various suggestions will be made to the missing points of regulations.*

*Key words: Building fire, Building evacuation, Disabled user, Evacuation of disabled in fire*

<sup>1</sup> e-posta adresi: furkan.erucar@medeniyet.edu.tr

<sup>2</sup> e-posta adresi: serteser@itu.edu.tr

## 1.GİRİŞ

Yangın, insan hayatını tehdit eden ve gerekli önlemler alınmadığında can ve mal kaybına neden olan bir afettir. Yangın karşısında alınması gerekli önlemlerin tümü öncelikle kullanıcıların can güvenliğini sağlamayı amaç edinir. Can güvenliğini sağlamanın ilk şartı da hızlı ve etkin bir tahliye sürecinin uygulanmasıdır. Tahliye, kişilerin veya korunması gereken varlıkların tehlikeli bir ortamdan güvenli bir ortama transferi olarak tanımlanabilir. Dolayısıyla binalardan, alanlardan, şehirlerden ve hatta ülkelerden tahliye süreçleri gerçekleştirilebilir. Yangın durumunda binalardan tahliye için dikey ve yatay yönde hareket ile güvenli alanlara ulaşılmaya çalışılır.

Sağlıklı kullanıcılar çoğu durumda binadan kendi başlarına tahliye olabilirler. Ancak özellikle hastaneler, bakımevleri, huzurevleri gibi binalar başta olmak üzere çoğu binada kendi başına tahliye olamayacak çeşitli engellere sahip kullanıcılar bulunabilmektedir. Bu çeşitli engellere duyma yetisinin olmaması, hareket zorluğu, hamilelik, alçı gibi kalıcı ve geçici olan engeller örnek verilebilir. Bu kullanıcılar tahliye sırasında genellikle diğer insanların yardımına ihtiyaç duymaktadır. Bina tahliyelerinde geçici ya da kalıcı fiziksel engeli bulunan kullanıcılar hem diğer insanların yardımına ihtiyaç duymakta hem de hareket hızları daha düşük olduğu için tahliye sürecini yavaşlatabilmektedir [1, 2].

Dünya üzerinde yapılan çeşitli araştırmalarda, ilerleyen yıllarda toplumda yaşlı bireylerin artacağı öngörülmektedir. Örneğin bir araştırmada, 2030 yılına kadar 60 yaş üstü bireylerin toplam dünya nüfusunun %16'sını oluşturacağı düşünülmektedir. Aynı araştırmada, 2050 yılına kadar dünyada 2,1 milyar insanın 60 yaş ve üzerinde olacağı öngörülmektedir [3]. Şu anda dünya üzerinde her 6 kişiden 1'i en az bir tür engel durumuyla hayata devam ederken bu oranın artması olağan görülmektedir [4]. Gelecekle ilgili bu araştırmaların sonucunda yaşlı ve engelli kullanıcıların afet durumlarında tahliyesi için yeni çalışmaların yapılması bir zorunluluktur.

## 2. ENGELLİLERİN BİNADAN TAHLİYESİ İLE İLGİLİ ULUSAL DÜZENLEMELER

Ülkemizde engelli kullanıcıların fiziksel çevre ile ilişkileri, yangın anındaki durumları ve erişilebilirlik konuları ile ilgili düzenlemeler için başvurulabilecek kaynaklar:

- Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik,
- 5378 numaralı Engelliler Hakkında Kanun,
- TS 9111 Engelliler ve Hareket Kısıtlılığı Bulunan Kişiler İçin Binalarda Ulaşılabilirlik gerekleri

olarak sıralanabilir.

Ülkemizde her türlü yapı, bina, tesis ile açık ve kapalı alan işletmelerinde alınacak yangın önleme ve söndürme tedbirlerini belirleyen Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY) incelendiğinde, geçici veya kalıcı fiziksel engeli bulunan kullanıcıların güvenlik ve tahliyesine yeterli düzeyde önemin verilmediği görülmektedir. Yönetmelikte yer alan:

- Engelli kullanıcıların gerektiği zamanlarda yangın güvenlik hollerinde bekletilebileceği,
- Acil durum asansörlerinin engelli kullanıcıların tahliyesinde kullanılabileceği,

- İşitme engelli kişilerin bulunma ihtimali olmayan alanlarda ışıklı uyarı cihazı kullanılması mecburi olmadığı

hükümleri engelli kullanıcılarla ilişkilendirilebilecek maddelerdir [5].

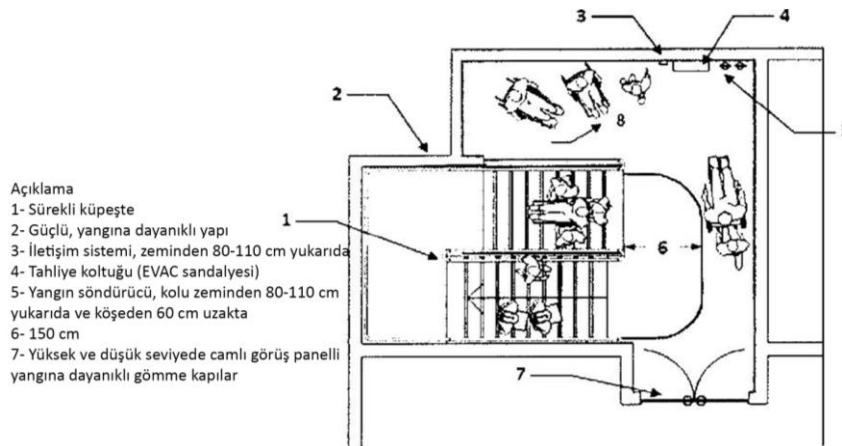
BYKHY incelendiğinde, engelli kullanıcıların tahliyesi için önemli sayılabilecek acil durum asansörünün ve yangın güvenlik holünün, yapı yüksekliği 51,50 m'den daha fazla olan yapılarda yapılmasının şart olduğu belirtilmektedir. Güvenlik holü konusunda bodrum katlarla ilgili değişik hükümler bulunsa da bu durum, yapı yüksekliği 51,50 m'den daha az olan yapılarda engelli kullanıcı tahliyesine ilişkin bir öneri getirilmediğini de gözler önüne sermektedir.

Ülkemizde yürürlükte olan 5378 numaralı Engelliler Hakkında Kanun incelendiğinde, kanunda yer alan erişilebilirlik ile ilgili maddeler haricinde engelli kullanıcıların fiziksel çevre ile ilişkisi, olası afet anında durumları hakkında önerilere/maddelere rastlanmamıştır [6].

Yine ülkemizde kullanılan TS 9111 (Engelliler ve Hareket Kısıtlılığı Bulunan Kişiler İçin Binalarda Ulaşılabilirlik Gereklere) standardında hareket engeli bulunan ya da hareket zorluğu yaşayan kullanıcıların tahliyesine ilişkin bazı hükümler getirilmiştir. Bu standartta:

- Tahliyenin, tasarımın ilk aşamalarından itibaren ele alınması gerektiği,
- Binalarda yatay yönde güvenli alana tahliyenin ilk düşünce olması gerektiği ve
- Yeni binalardaki tüm asansörlerin yangın durumunda kullanılacak kapasitede olması gerektiği

belirtilmiştir [7]. Yine TS 1911 standardında, merdiven, basamak ve yürüyen merdivenin ulaşılabilir çıkış yollarının bir parçası olamayacağı ifade edilmektedir. Çıkışın üstünde veya aşağısında katları olan çok katlı binalarda tahliye asansörlerinin de ulaşılabilir çıkış yollarının bir elemanı olarak kullanılabilmesi vurgulanmaktadır. Standartta örnek olarak sunulan bir tahliye merdiveni tasarımı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1: Kurtarma yardım alanı olan yangın tahliye merdiveni [7].

Aynı standartta, kurtarma yardım alanları diğer bir adıyla güvenlik alanlarıyla ilgili maddeler de yer almaktadır. Kurtarma alanlarının yangın dayanım süreleri ve hangi alanların kurtarma alanı olarak belirlenebileceği açıklanmıştır.

### 3. ENGELLİLERİN BİNADAN TAHLİYESİ İLE İLGİLİ ULUSLARARASI DÜZENLEMELER

Engelli kullanıcıların tahliye olanakları konusunda, ABD, İngiltere, İskoçya ve İrlanda gibi ülkelerde çıkarılmış talimatnameler, yönergeler ve standartlar bulunmaktadır. Bu kaynaklar genellikle American with Disabilities Act (ADA) ve Disability Discrimination Act (DDA) gibi standartlara atıf yapmaktadırlar. Bu kaynaklarda engelli kullanıcıların durumlarına özel olarak önlemler alınması gerektiği vurgulanmaktadır [8, 9, 10]. Engel türüne bakılmaksızın, hazırlanması gereken Kişisel Acil Durum Tahliye Planı (Personal Emergency Evacuation Plan [PEEP]) hemen her öneride karşımıza çıkmaktadır. Bu tahliye planı, engelli kullanıcılar için binadan tahliye stratejilerini ve gereksinimlerini açıklar. Bu tahliye planı hazırlanırken dikkat edilmesi gereken bazı ilkeler bulunmaktadır. Bunlar:

- Engelli kullanıcılara çözülmesi gereken bir sorun olarak bakılmamalıdır.
- Planın hazırlanma aşamasında her adımda kullanıcılar bilgilendirilmelidir.
- Kullanıcılara olası tahliye durumunda nasıl bir destek isteyeceği sorulmalıdır.
- Kullanıcılar tahliye prosedürleri hakkında bilgilendirilmelidir.

Kişisel acil durum tahliye planına bir örnek verilmesi gerekirse; bir işyerindeki hareket engeli bulunan bir personel kaçış merdivenini kullanırken zorluk yaşamaktadır. İşyerine bu çalışan için bir tahliye sandalyesi alınır ve tahliyede görevli personeline bu sandalyenin kullanımını hakkında eğitim verilir. Daha sonra işyeri yönetimi, çalışana bu durum hakkında bilgi verir ve hangi personellerin bu eğitimi aldığını bildirir.

Uluslararası yönergelerde engelli kullanıcı tahliyesi konusunda PEEP haricinde de önerilen düzenlemeler bulunmaktadır. Bu düzenlemelerde kullanıcılar engel türlerine göre:

- Hareket kabiliyeti olmayan ya da sınırlı kullanıcılar
- İşitme zorluğu bulunan ya da hiç duymayan kullanıcılar
- Görme yetisi olmayan ya da sınırlı kullanıcılar
- Konuşma engeli bulunan kullanıcılar
- Zihinsel engeli bulunan kullanıcılar

olarak 5'e ayrılmaktadır.

#### 3.1. Hareket Kabiliyeti Olmayan ya da Sınırlı Kullanıcılar

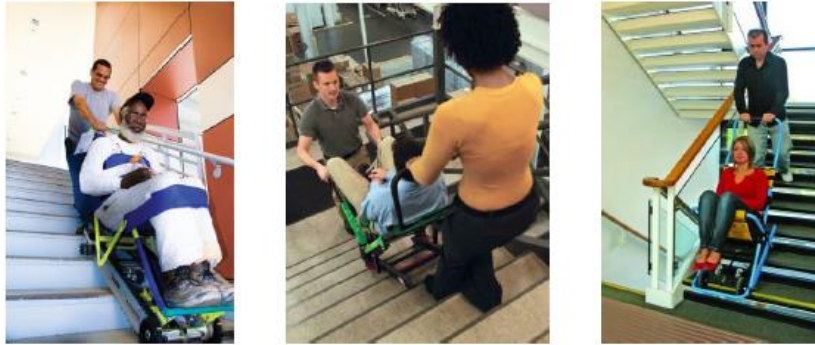
Baston, koltuk değneği ve tekerlekli sandalye gibi cihazlar genellikle hareket kabiliyeti sınırlı veya hareket kabiliyeti kısıtlı kullanıcılar tarafından kullanılır. Bu kullanıcıların yaşadığı tahliye sorunları genellikle şunlardır:

- Dar alanlarda manevra zorluğu
- Çok dik eğimli alanlarda hareket etme zorluğu
- Yüksek seviyeye erişim problemleri
- Farklı kot seviyesinde olan iki alan arasında geçişlerde karşılaşılan zorluklar

olarak sıralanabilir.

Hareket kabiliyeti olmayan veya kısıtlı olan kullanıcılar, olası bir yangın durumunda yangın alarmlarını ve yapılan anonsları duyabilirler. Ayrıca yangın uyarı ışıklarını da görebilirler. Bu nedenle yangın bildirim konusunda herhangi bir özel önlem gerektirmezler.

Hareket engeli bulunan kullanıcılar için tercih edilebilecek tahliye yöntemleri; binanın dışına ya da aynı kot seviyesinde bulunan korunumlu bir yangın kompartımanına yatay yönde hareket ile tahliye, yerinde korunma (defend-in-place) yöntemi ve düşey yönde bina dışına ulaşım sağlayan bir yangın tahliye (acil durum) asansörüdür. Yatay yönde tahliye ve yerinde korunma stratejileri, kaçış merdivenleri ile bağlantılı olmasa bile bina katını iki veya daha fazla duman sızdırmaz kompartman alanlarına bölmeyi gerektirir. Yani bu yöntemler, kat düzleminde özellikle duman sızıntısına karşı korunumlu kompartman alanları oluşturmayı ve bina kullanıcılarının yangında belirli bir süre boyunca hayatta kalabilmeleri için bu kompartman alanları arasında yatay yönde hareketini gerektirir. Yerinde korunma durumunda düşey yönde tahliye aranmadığı ve yatay yönde hareket gerekmesi nedeniyle hareket engeli bulunan kullanıcılar için insan gücüne daha az ihtiyaç duyulur. Söz konusu yöntemler bulunmuyor veya uygulanamıyorsa, hareket engeli bulunan kullanıcıların yangın merdivenlerinden personel tarafından taşınarak indirilmesi gerekir (Şekil 2). Bu aşamada, binada tahliye sandalyelerinin bulundurulması ve uygun yerlerde konumlandırılması gerekir. Ayrıca bu yöntemde yardımcı olacak personelin taşıma konusunda eğitim almış olması son derece önemlidir.



**Şekil 2:** İhtiyaç duyan kullanıcıların tahliye sandalyesi yardımıyla eğitilmiş personel tarafından merdivenlerden indirilmesi [8].

Bazı binalarda birden fazla kaçış yolu bulunabilir. Bu durumdaki binaların bazılarında, bu kaçış yollarının sadece bir tanesi hareket engeli bulunan kullanıcılar için uygun şekilde düzenlenmiş olabilir. Bu gibi durumlarda, hareket engeli bulunan kullanıcılara uygun düzenlenmiş kaçış yolları ve rotaları erişilebilirlik simgesi ile gösterilmelidir. Ayrıca bu rotalarda harekete yardımcı olmak üzere duvarlara monte edilmiş küpeştelere yerleştirilmelidir.

### **3.2. İşitme Zorluğu Bulunan ya da Hiç Duymayan Kullanıcılar**

Bazı insanlar, geçici ya da kalıcı şekilde işitme kaybına uğrayabilirler. Bu durumdaki kullanıcılar için önemli nokta, bir yangın durumundan ve tahliye gerekliliğinden haberdar edilmeleridir. Tam işitme kaybı olan kullanıcılar, yangın durumunda sesli ikazları ve anonsları fark etmeyebilirler. Bu nedenle, binalarda sesli ikaz sistemleriyle birlikte ışıklı ikaz sistemleri de bulunması son derece önemlidir (Şekil 3).





Şekil 3: Yangın durumunda kullanılan ışıklı ve sesli ikaz sistemleri [8].

İşitme kaybı olan insanlar, gündelik yaşantılarında işaret dilini oldukça yoğun kullanırlar. Bu sebeple, görevli personeller içinde işaret dili eğitim almış kişiler bulunması büyük fayda sağlar. Bu nedenle işletme yönetimlerinin, görevli personellerinin bazılarında işaret dili eğitim aldırması uygun olacaktır.

### 3.3. Görme Yetisi Olmayan ya da Sınırlı Kullanıcılar

Görme yetisi sınırlı olan veya hiç olmayan kullanıcılar, olası bir yangın anında alarmları ve anonsları duyabilmektedirler. Bu nedenle yangın durumu bildirim konusunda özel bir önleme ihtiyacı duymazlar. Bu kullanıcılar genellikle kendileri için yapılacak özel düzenlemelerle tahliyelerini kendi başlarına sağlayabilirler. Bu konuda yapılabilecek bazı düzenlemeler:

- İç mekanlarda kontrastın iyi ayarlanması
- Kaçış yolları ve merdivenlerde küpeşterlerin düzenlenmesi
- Yangın merdivenlerinde basamakların uygun olarak tasarlanması ve düzenlenmesi
- Kaçış yollarını belirten döşemelerde değişik malzeme kullanılması ya da değişik renkte kaplanması (Şekil 4)
- Dokunsal kat planlarının oluşturulması ve bu planlarda kaçış yollarının belirtilmesi
- Kaçış yollarını daraltacak bir depolama yapılmamasına dikkat edilmesi

olarak sıralanabilir.



Şekil 4: Çıkışa giden yolun farklı renkte ve dokuda malzeme kullanımıyla ayırt edilebilir hale getirilmesi [8].

### 3.4. Konuşma Engeli Bulunan Kullanıcılar

Konuşma yetisi sınırlı olan veya hiç olmayan kullanıcılar, olası bir tahliye anında alarmları ve anonsları duyabilmekte, ışıklı ikazları görebilmektedirler. Bu nedenle yangın durumu bildirim konusunda özel bir önleme ihtiyaç duymazlar. Genellikle kendi başlarına tahliye olabilirler ancak bazı durumlarda yardıma ihtiyaç duyabilirler. Bu kullanıcılara tahliye anında yardımcı olunabilmesi için görevli personeller içinde işaret dili eğitim almış kişiler bulunmalıdır. [8,11]

### 3.5. Zihinsel Engeli Bulunan Kullanıcılar

Zihinsel zorluk yaşayan kullanıcılar genellikle acil durumun farkında olamazlar. Bu zihinsel zorlukların farklı türleri olabilir. Disleksi, dispraksi ya da otizm gibi hastalıkları bulunan kullanıcılar bu sınıfta değerlendirilir. Ayrıca bu kullanıcılar, tahliye kavramını anlamakta da güçlük yaşayabilirler. Öğrenme ve kavrama zorluğu yaşayan bu kullanıcılar aynı zamanda fiziksel engellere de sahip olabilirler [11]. Bazı durumlarda diğer kullanıcılardan daha yavaş hareket edebilirler ve bu da tahliye sürecinin uzamasına neden olabilir.

Zihinsel zorluklara sahip kullanıcılara tahliye yöntemleri resimli kitaplar yardımıyla öğretilebilir. Öte yandan videolar yardımıyla da tahliye ve acil durum kavramları anlatılabilir. “Buddy” sistemi ile bu kullanıcılardan sorumlu bir personel atanarak tahliye tatbikatları ile öğrenimler pekiştirilebilir. Bu sistemde personel eğitimi önemli hale gelmektedir [8].

## 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Her insan hayatının tamamını ya da bir bölümünü fiziksel veya zihinsel engeller ile geçirebilir. Bu, basit bir kol alçısı ya da hamilelik gibi hareketi kısıtlayan geçici bir engel olabileceği gibi tam işitme kaybı gibi kalıcı bir engel de olabilir. Engellerin, engel olmaktan çıkması, kişilerin hayatına etkisinin azaltılması amacıyla bu kişilerin hayata katılımı önemsenmekte, teşvik edilmekte ve bu yönde uygulamalar geliştirilmektedir.

Yangın gibi can ve mal kaybına sebep olan bir afet karşısında, ilk hedef can sağlığını korumaktır. Bunun yolu da hızlı ve etkin bir tahliye sürecinden geçmektedir. Dünya genelinde, engelli kullanıcıların tahliye ve korunma yöntemlerine büyük önem verildiği görülmektedir. Ülkeler, uluslararası çeşitli standartları kendi yönetmeliklerine göre optimize ederek kullanmaktadır. Genellikle Kişisel Acil Durum Tahliye Planı (PEEP) hazırlanması tüm ülkelerde tavsiye edilmektedir. Binalarda bu planlara göre, engelli kullanıcılara uygun şekilde düzenlemeler yapıldığı görülmektedir. Bu düzenlemeler yapılırken kullanıcıların zorluk yaşadığı alanlara odaklanılmakta ve binalarda geliştirmeler yapılmaktadır.

Ülkemizde engelli kişilerin hayata katılımı teşvik edilmekte ve iş yaşamına katılması için özel düzenlemeler yapılmaktadır. Ancak bu teşvikler yapılırken engelli kullanıcıların olası yangınlarda can güvenliğinin sağlanması konusunda yeterli düzenlemeler henüz yapılmamıştır. Örnek vermek gerekirse, Türkiye’de fiziksel ve zihinsel engelli kullanıcıların tedavi amaçlı sıklıkla kullandığı hastane, bakımevi, sağlık merkezi, poliklinik ve muayenehaneler gibi yapılarda çok sayıda yangın meydana gelmektedir. Buna karşın ülkemizdeki mevcut yangın yönetmeliğinde engelli kullanıcıların tahliyelerine ilişkin özel durumlara yer verilmemektedir. Söz konusu engelli

kullanıcılar olunca zaten başlı başına güç bir operasyon olan tahliyenin daha da güç bir hale gelmesinin önüne geçebilmek için yürürlükteki BYKHY içerisinde engelli kullanıcıların yangından korunması ve tahliyesi konusunda bir başlık açılmalı ve dünya genelinde uygulanan özel düzenlemeler bu bölüm içerisinde yer almalıdır. Ayrıca, Kişisel Acil Durum Tahliye Planı hazırlanması da bu başlık altında ele alınmalı ve her kuruluş için bu planların hazırlanması bir zorunluluk haline getirilmelidir. Yönetmelik gibi yasal düzenlemelerde konuyla ilişkili maddelerin bulunması ve bunların hayata geçirilmesi engelli kullanıcıların yangın gibi acil bir durumda korunmasına katkı sağlayacak ve tahliye durumunda ortaya çıkabilecek bir kaosu ortadan kaldıracaktır.

Bu konuda diğer önemli bir nokta da personelin eğitimidir. Uluslararası kaynaklarda da görüldüğü üzere, engelli kullanıcıların binalardan tahliyesinde görevli personel etkin rol oynamaktadır. Bu nedenle tahliyede görev alacak yardımcı personelin engelli kullanıcıyı taşıma ve işaret dili konularında eğitim alması olası yangınlarda tahliyenin daha hızlı ve güvenli gerçekleşmesini sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

1. L. Shi, Q. Xie, X. Cheng, L. Chen, Z. Yang, Z. Ruifang, “Developing a database for emergency evacuation model,” *Building and Environment*. 44, (2009), pp:1724-1729.
2. J. Koo, Y. Kim, B. Kim, “Estimating the impact of residents with disabilities on the evacuation in a high-rise building: a simulation study,” *Simulation Modelling Practice and Theory*. 24, (2012), pp:71–83.
3. World Health Organization. “Ageing and health,” (2022), erişim adresi: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health> (son erişim tarihi: 01.04.2024).
4. World Health Organization. “Disability and health,” (2023), erişim adresi: <http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health> (son erişim tarihi: 01.04.2024).
5. Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik
6. 5378 numaralı Engelliler Hakkında Kanun
7. TS 9111 Engelliler ve hareket kısıtlılığı bulunan kişiler için binalarda ulaşılabilirlik gerekleri.
8. NFPA, “Emergency evacuation planning guide for people with disabilities,” (2022).
9. NFPA Disability Access Review and Advisory Committee, “Emergency evacuation planning guide for people with disabilities,” (2016).
10. HM Government, “Means of escape for disabled people,” (2007).
11. F. Eruçar, N. Serteser, “Engellilerin Binadan Tahliyesiyle İlgili Ulusal ve Uluslararası Düzenlemelerin İncelenmesi,” *Mimarlık ve Yangın Sempozyumu Bildiri Kitabı*. (2023), pp:129-136

# **YAPI ELEMANLARI İÇİN YANGINA DAYANIM PERFORMANSLARININ ULUSLARARASI STANDARTLARA GÖRE TEST PROSEDÜRLERİNİN İNCELENMESİ**

Şafak Beşiroğlu<sup>1</sup>  
Nuri Serteser<sup>2</sup>  
İTÜ Mimarlık Fakültesi, Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

## **ÖZET**

*Bir disiplin olarak yangın emniyeti, yangının her an gerçekleşebilme potansiyeli ve yangın oluşumunun tamamen engellenememesi nedeniyle insan hayatı ve yapma çevre için önemli bir risktir. Bu riske önlem olarak farklı ülkeler ve düzenleyici kurumlar, yangın sırasında yapı elemanlarının performanslarını değerlendirmek için standartlar uygulamaktadır. ABD, İngiltere, Hindistan, Japonya, Avustralya, Çin ve Avrupa ülkelerinde kullanılan ISO 834, ASTM E119, BS 476, IS 3809, JIS A 1304, AS 1503, GB/T 9978 ve EN 1363 yapı elemanlarının yangına dayanım performanslarını ölçen test standartlarıdır. Bu çalışma, yapı elemanları için yangına dayanım performanslarının uluslararası standartlara göre test prosedürlerinin karşılaştırmasını sunmaktadır. İzole edilmiş test ortamında uygulanan standart testler, yangının konumu, yayılma hızı, büyüklüğü gibi nedenlerle gerçek yangın senaryolarını tam anlamıyla yansıtmayabilir. Yapı elemanlarının yangın anında nasıl performans göstereceğini tahmin edebilmek, binaların emniyeti ve sürdürülebilirliği açısından kritik rol oynamaktadır. Sonuç olarak, uluslararası ölçekte kabul gören yapı elemanlarının yangına dayanım performanslarını ölçen test standartları ve prosedürleri arasında farklılıklar olduğu görülmektedir. Standartların içeriği benzer olmalarına rağmen görülen farklılıklar, ülkelerde beklenen yangına dayanım performanslarının farklı olması ve standartların güncelliği ile ilişkilendirilmiştir. Yapı elemanlarının olası yangın senaryolarına uyum sağlayabilmesi için bahsi geçen standartların gelişen teknoloji ve zamanın şartlarına göre güncellenmesine ihtiyaç vardır. Öte yandan gelecekte yapılacak deneysel çalışmalar için genel çerçeve tanımlanmıştır.*

*Anahtar sözcükler: Yapı elemanları, Yangın dayanım performansı, Yangın standartları, Yangın testi, Yangın emniyeti*

## **ABSTRACT**

*Fire safety, as a discipline, is a significant risk for human life and environment due to the potential for fire to occur at any time and the inability to prevent fire completely. As a precaution against this risk, different countries apply standards to evaluate the performance of building elements during fire. ISO 834, ASTM E119, BS 476, IS 3809, JIS A 1304, AS 1503, GB/T 9978 and EN 1363, used in USA, England, India, Japan, Australia, China and European countries, are test standards that measure fire resistance performance of building elements. This study presents a comparison of test procedures for fire resistance performances of building elements according to standards. Standard tests performed in an isolated test environment may not fully reflect real fire scenarios due to reasons such as the location of fire, its spreading speed, and its size. Being able to predict how building elements will perform in case of fire plays a critical role in safety. As a result, it appears that there are differences between internationally accepted test standards and procedures that measure fire resistance performance of building elements. Although the contents of the standards are similar, differences observed are associated with different fire resistance performances expected in countries and currentness of the standards. For building elements to adapt to possible fire scenarios, the mentioned standards need to be updated according to technology and conditions of time.*

*Keywords: Building elements, Fire resistance performance, Fire standards, Fire test, Fire safety*

<sup>1</sup> besiroglu18@itu.edu.tr

<sup>2</sup> serteser@itu.edu.tr

## 1.GİRİŞ

Yangın, nerede, ne zaman ve nasıl gerçekleşeceği belli olmayan bir afettir. Son yıllarda ülkemizdeki bina yangınlarının sayısında artışlar gözlenmektedir. İBB İtfaiye Daire Başkanlığı'nın 2018-2022 yılları istatistiklerine göre 2022 yılında binalarda meydana gelen yangınlar 2018 yılına oranla %36 artış göstermiştir [1]. Bunun büyük çoğunluğunun konutlarda gerçekleştiği belirtilmektedir.

Ülkelerin yasal gerekliliklerinde, yangın emniyet önlemlerine ilişkin çeşitli kriterler yer almaktadır. Yangın önleme (fire prevention) ve yangından korunma (fire protection) tedbirlerinin tasarımın ilk aşamalarından itibaren uygulamaya konulması, insan hayatı ve yapma çevre için risklerin azaltılmasında etkili rol oynamaktadır. Bu riski minimuma indirmeyi amaçlayan farklı ülkeler ve düzenleyici kurumlar, yönetmelik ve standartlarla tasarımcılara yol gösterme misyonunu üstlenmektedir. Ülkelerin binalara ilişkin yangın mevzuatlarında, yangın emniyet önlemlerinin önemli bir bölümü yapı elemanlarına yöneliktir. Standartlar, yapı elemanlarının yangına dayanım performansını test etmek için belirli prosedürler içermektedir. Standartların ele aldığı testler arasında yangına maruz kalma, tutuşabilirlik, yangının yayılması, yanmazlık ve yangına dayanıklılık yer almaktadır.

İzole edilmiş test ortamında uygulanan standart testler, yangının konumu, yayılma hızı, büyüklüğü gibi nedenlerle gerçek yangın senaryolarını tam anlamıyla yansıtmayabilir. Buna rağmen, yapı elemanlarının gerçek yangın anında nasıl performans göstereceğini tahmin edebilmek, binaların emniyeti ve sürdürülebilirliği açısından kritik rol oynamaktadır. Yangını önceden tahmin etmek mümkün olmasa da uygulanan testler yangın sırasında yapı elemanları ve yapının strüktürel bütünlüğü için gereken minimum değerleri tanımlar. ABD, İngiltere, Hindistan, Japonya, Avustralya, Çin ve Avrupa ülkelerinde kullanılan ISO 834, ASTM E119, BS 476, IS 3809, JIS A 1304, AS 1503, GB/T 9978 ve EN 1363 yapı elemanlarının yangına dayanım performanslarını ölçen test standartlarıdır. Bu çalışmada, yapı elemanları için yangına dayanım performanslarının uluslararası standartlara göre test prosedürlerinin karşılaştırması yapılmıştır.

## 2. YÖNTEM

Yapı elemanlarının yangına dayanım performanslarını ölçmek için hazırlanmış uluslararası test standartları karşılaştırılırken belirli maddelere odaklanılmıştır. Bunlar:

- Test düzeneği: fırın, kurulan sistem vb.
- Test parametreleri: performans kriterleri
- Test numunesi: numune boyutu, malzemeler vb.
- Test protokolü: test standartlarında uygulanan sınırlamalar
- Test sonuçları: standartlarda yer alan minimum değerlerdir.

Bu çalışmada incelenen test standartlarının yukarıda yer alan içerikleri karşılaştırılarak incelenmiş ve aralarındaki farklılıklar ortaya konulmuştur.

### 3. YAPI ELEMANLARI İÇİN YANGINA DAYANIM TEST STANDARTLARI

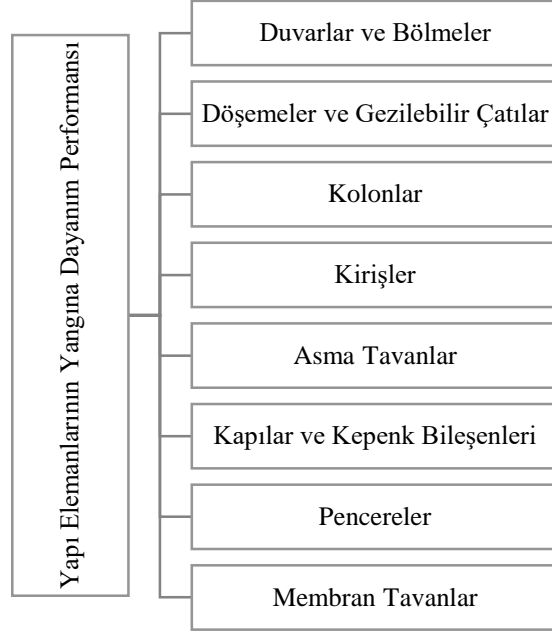
Yangına dayanım performanslarını ölçen testler, on sekizinci yüzyıla kadar dayanmaktadır. Fakat o zamanlarda yapılan testlerde ölçüm metodolojisi, fırın boyutu gibi testi etkileyen parametrelerin belirli bir standardı olmadığından sonuçlara şüphe ile yaklaşılmıştır [2]. Bu nedenle, ülkeler ve düzenleyici kurumlar daha güvenilir sonuçlar elde etmek için yapı elemanları için yangına dayanım performanslarını test etmeye devam etmişlerdir. Çizelge 1’de yangına dayanım performanslarının test prosedürlerinin kronolojik olarak gelişimi yer almaktadır.

**Çizelge 1:** Yangına dayanım performanslarının test prosedürlerinin kronolojik olarak gelişimi [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14]

Yıl	
1880	Avrupa’da yangın testlerinin başlangıcı
1884	Berlin, Almanya’da yangın testi yapmak için tesis kurulması, Almanya ve Avusturya’da kolonlar üzerine yapılan testler
1890	ABD’de yangın testlerinin başlangıcı
1891	Almanya’da ilk duvar üzerinde yangın testi
1891	St. Louis, Missouri, ABD’de döşeme üzerinde yangın testi
1892	Berlin, Almanya’da kapı üzerine yangın testi
1893	Viyana, Avusturya’da duvar üzerinde yangın testi, Berlin, Almanya’da döşeme, kapı ve pencerelerde yangın testi
1894	Trenton, New Jersey, ABD’de izole döşeme yangın testi
1896	ABD’de kolonlar üzerine yangın testlerinin başlangıcı
1897	İngiliz Yangın Önleme Komitesi’nin kurulması
1899	Birleşik Krallık’ ta duvar ve kapılar için yangın testleri
1902	ABD’de yangın testleri için ilk tesis kurulması
1907	Döşeme için standart testler geliştirilmesi
1909	Duvarlar için standart testlerin geliştirilmesi
1917	ASTM C19 (E119’un ilk versiyonu)
1932	BS 476
1941	ASTM E152
1972	IS 3809
1994	Japon yangın test standartlarının yayınlanması (JIS A 1304)
1999	EN 1363 (Bölüm 3-4) ve ISO 834 (Bölüm 1)
2000	ISO 834 (Bölüm 4-8) ve EN 1363 (Bölüm 2)
2003	ISO 834 (Bölüm 9)
2005	AS 1530 (Bölüm 4)
2008	GB/T 9978 (Bölüm 1, 3-9)
2012	EN 1363 (Bölüm 1) ve EN 1365 (Bölüm 1)
2014	EN 1364 (Bölüm 3-4) ve EN 1365 (Bölüm 2)
2015	EN 1364 (Bölüm 1)
2018	EN 1364 (Bölüm 2)
2019	GB/T 9978 (Bölüm 2)
2020	EN 1363-1, 2020 (2012’de yürürlükten kalkmıştır.)

Standartlar, sırasıyla testin amacı, test düzeneğinin içeriği ve kurulumu, test protokolü ve sonuçları içerir. ISO 834, ASTM E119, BS 476, IS 3809, JIS A 1304, AS 1530, GB/T 9978 ve EN 1363 gibi

mevcut standartlar belirli bölümlerden oluşur [4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. Şekil 1’de ismi geçen standartlarda geçen bölümler yer almaktadır.



Şekil 1: Yapı elemanlarının yangına dayanım performanslarını ölçen testlerin bölümleri

Farklı ülkelerin uyguladıkları test standartları farklı amaçlara yönelik olabilir. Örneğin, kimi test standardı genel esaslar ve gereksinimler hakkında, kimi standart taşıyıcı yapı elemanları için kimisi de taşıyıcı olmayan yapı elemanlarıyla ilgili test yöntemlerini ve performans kriterlerini belirler. Çizelge 2’de çalışmada ele alınan standartların içeriklerine yer verilmiştir.

Çizelge 2: Yangına dayanım performanslarının test prosedürlerinin içerikleri [5, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23]

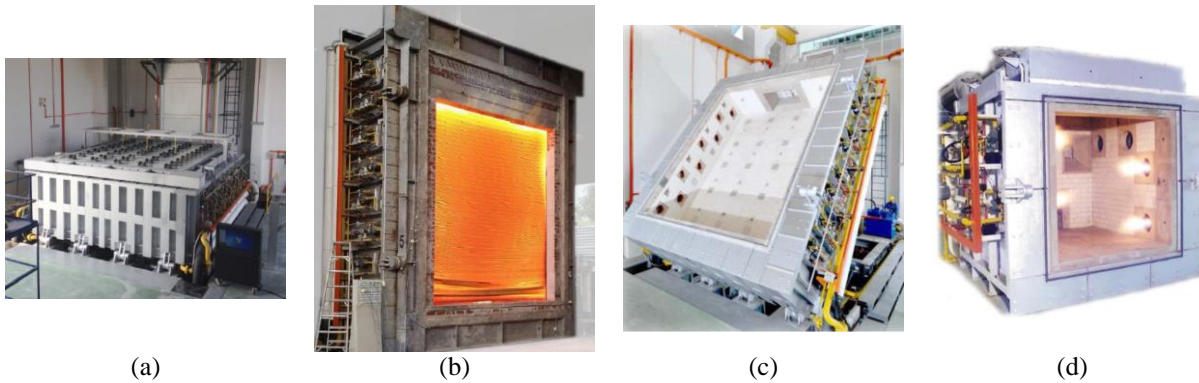
	Standart	Amaç
Yapı elemanları üzerine testlerin genel esasları	ISO 834 – 1	Ekipman ve prosedürlere ilişkin genel ilkeler
	ISO 834 – 6	Kirişler için gereklilikler
	ISO 834 – 7	Kolonlar için gereklilikler
	EN 1363 – 1	Yangına dayanıklılık testinin genel ilkeleri
	DIN 4102 – 2	
	BS 476 – 20	Yapı elemanlarının yangına dayanım performansı için genel kavramlar
	GB/T 9978 – 1	
	GB/T 9978 – 6	Kirişler için gereklilikler
Taşıyıcı yapı elemanlarına ilişkin ilkeler	GB/T 9978 – 7	Kolonlar için gereklilikler
	ISO 834 – 4	Düşey taşıyıcı elemanlar için gereklilikler
	ISO 834 – 5	Yatay taşıyıcı elemanlar için gereklilikler
	EN 1365 – 1	Taşıyıcı duvarlar için gereklilikler
	EN 1365 – 2	Taşıyıcı döşemeler için gereklilikler
	EN 1365 – 3	Kirişler için gereklilikler
	EN 1365 – 4	Kolonlar için gereklilikler
	BS 476 – 21	Taşıyıcı yapı elemanları için gereklilikler
	GB/T 9978 – 4	Düşey taşıyıcı elemanlar için gereklilikler
	GB/T 9978 – 5	Yatay taşıyıcı elemanlar için gereklilikler

**Çizelge 2** (devamı): Yangına dayanım performanslarının test prosedürlerinin içerikleri [5, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23]

	Standart	Amaç
Taşıyıcı olmayan yapı elemanlarına ilişkin ilkeler	ISO 834 – 8	Taşıyıcı olmayan düşey yapı elemanları için gereklilikler
	ISO 834 – 9	Taşıyıcı olmayan yatay yapı elemanları için gereklilikler
	EN 1364 – 1	Taşıyıcı olmayan duvarlar için gereklilikler
	EN 1364 – 2	Taşıyıcı olmayan döşemeler için gereklilikler
	EN 1364 – 3	Yük taşımayan perde duvarlar için gereklilikler
	EN 1364 – 4	Giydirme cepheler için gereklilikler
	BS 476 – 22	Taşıyıcı olmayan yapı elemanları için gereklilikler
	GB/T 9978 – 8	Taşıyıcı olmayan düşey yapı elemanları için gereklilikler
	GB/T 9978 – 9	Taşıyıcı olmayan yatay yapı elemanları için gereklilikler
Diğer konular	DIN 4102 – 1	Yapı malzemelerinin sınıflandırılmasına ilişkin gereklilikler
	DIN 4102 – 4	Yapı malzemelerinin, elemanlarının ve bileşenlerinin tasarımı
	DIN 4102 – 8	Küçük ölçekli test firmı için standart test
	DIN 4102 – 14	Radyant bir ısı kaynağı kullanan zemin kaplama sistemlerinin yanma davranışının belirlenmesi
	DIN 4102 – 15	Yapı malzemelerinin ve yangın şaftı elemanlarının yangın davranışı
	DIN 4102 – 16	Yangın şaftı testleri
	GB 12955	Yangın kapılarının yangına dayanımı için gereklilikler
	GB 14102	Kepenlerin yangına dayanımı için gereklilikler
	GB 15763 – 1	Pencerelerin yangına dayanımı için gereklilikler
	GB 16807	Yalıtım malzemelerinin yangına dayanımı için gereklilikler
	GB 23864	Yangın durdurucu malzemelerinin yangına dayanımı için gereklilikler
	BS 476 – 23	Yapı bileşenlerinin yangına dayanıklılığına katkısının belirlenmesi
	GB/T 7633	Kapı ve kepenlerin yangına dayanımı için gereklilikler
	GB/T 12513	Pencerelerin yangına dayanımı için gereklilikler
	GB/T 24573	Kasalar ve arşiv kapıları için yangına dayanıklılık testleri

### 3.1. Test Düzenekleri

ISO 834, ASTM E119, BS 476, IS 3809, JIS A 1304, AS 1503, GB/T 9978 ve EN 1363 standartları, genellikle standart bir yangın odası veya firmı içerir [4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. Yapı elemanlarının yangına dayanım performanslarını uluslararası standartlara göre değerlendirmek için fırınlar tasarlanmıştır. Yangına dayanıklılık testlerinin yapılabilmesi için birçok test düzeneği ve beraberinde fırın geliştirilmiştir. Şekil 2’de yatay, düşey, hidrolik, göstergeli gibi birçok test firmı bulunmaktadır.



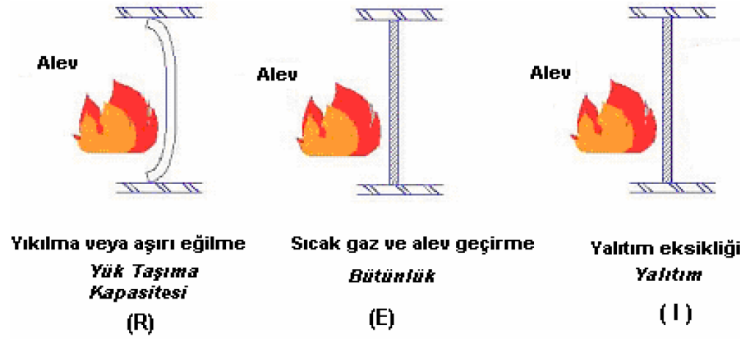
**Şekil 2:** Test fırınları: (a) yatay, (b) düşey, (c) hidrolik, (d) göstergeli [24]



Kısaca yatay fırın döşemelerde; düşey fırın duvar, kapı ve kolonlarda; hidrolik fırın hem yatay hem düşey konumdaki duvar, döşeme ve kirişlerde; göstergeli fırınlar da yüksek sıcaklıklarda küçük numuneler üzerinde test yapmak için kullanılır. BS 476’da fırın, test edilen numunenin boyutuna göre tasarlanmaktadır. Fırın açıklığının numunenin yüzeyinden en az 1,5 oranında büyük olması gerekmektedir [5]. Bunun dışında basıncı ölçmek için özel bir basınç algılama sistemi kullanılmalıdır. Yangının başlama zamanı bir cihaz ile kaydedilmelidir. Hindistan’da uygulanan IS 3809 standardı BS 476’dan uyarlanmıştır [5, 7, 25].

### 3.2. Test Parametreleri

Bir yapı elemanının yangına dayanım performansının karakterize edilebilmesi için temelde yük taşıma kapasitesi (R), bütünlük (E) ve yalıtım (I) kriterlerine bakılmaktadır (Şekil 3). Yapı elemanının yangına maruz kalma durumunda strüktürel kararlılığını koruması yük taşıma kapasitesi olarak nitelendirilmektedir. Bütünlük ise yapı elemanlarının sıcak gaz ve alev geçirmezlik dayanımını ifade etmektedir. Yalıtım, alev maruz kalan yapı elemanının sıcaklık artışına karşı dayanımıdır [9].



Şekil 3: Yapı elemanlarının yangına dayanım performansları [26]

Yangın testi sırasında numune, standartta belirtilen zaman/sıcaklık eğrisine göre kontrollü koşullarda alev maruz bırakılır. Sonrasında işlevini kaybeden yapı elemanı için zaman kaydedilir. Yangın süresi genellikle 30 ila 120 dakika arasında değişir ve sıcaklık profili yangının başlangıcından itibaren belirli bir süre boyunca artar. Örneğin, REI 90 denildiğinde yük taşıma kapasitesi, bütünlük ve yalıtım gereksinimlerini en az 90 dakika boyunca karşılayacağı anlamına gelir.

EN 1363’e göre taşıyıcı veya taşıyıcı olmayan yapı elemanları için alev maruz kalmayan yüzeyinin ortalama 140 °C’den fazla veya herhangi bir noktanın 180 °C’den fazla yükselmemesi gerekir [9]. BS 476 standardında beklenen performans kriterleri EN 1363 ile benzerdir [5]. ISO 834’e göre, EN 1363’e benzer şekilde, yapı elemanları için alev maruz kalmayan yüzeyinin ortalama 140°den, başlangıç sıcaklığı 180 °C’den ve herhangi bir noktadaki maksimum sıcaklık 220 °C’den fazla artmamalıdır [10]. ASTM E119’da ise döşemelerde alev maruz kalmayan yüzeyler için herhangi bir noktadaki ortalama sıcaklık başlangıç sıcaklığının üzerine 139 °C’den fazla çıkmamalıdır [4].

### 3.3. Test Numunesi

Yangına dayanıklılık testleri için genellikle gerçek yangın senaryosunu yansıtmaması açısından gerçek boyutta numuneler tercih edilmektedir. Test numuneleri, genellikle yangına dayanıklı yapı

elemanlarını temsil eder. Gerçek boyutta bir numune oluşturulması mümkün değil ise, standartlarda belirtilen minimum numune boyutlarının kullanılması gerekmektedir. **Çizelge 3**'te standartlarda belirtilen numune boyutları verilmiştir.

**Çizelge 3:** Farklı standartlara göre test numune boyutları [4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 15]

Standart	Duvar	Döşeme	Kolon	Kiriş	Asma tavan
ASTM E119	Alan $\geq 9 \text{ m}^2$ Yükseklik $\geq 2.7 \text{ m}$	Alan $\geq 16 \text{ m}^2$ Uzunluk $\geq 3,7 \text{ m}$	Yükseklik $\geq 2.7 \text{ m}$	Uzunluk $\geq 3,7 \text{ m}$	Alan $\geq 16 \text{ m}^2$ Uzunluk $\geq 3,7 \text{ m}$
AS 1530	Alan = $3 \times 3 \text{ m}^2$	Alan = $4 \times 3 \text{ m}^2$	Yükseklik $\geq 3 \text{ m}$	Uzunluk $\geq 3 \text{ m}$	Alan = $4 \times 3 \text{ m}^2$
ISO 834 EN 1363 DIN 4102 BS 476	Genişlik = $3,5 \text{ m}$ Yükseklik = $2,5 \text{ m}$	Genişlik = $2,5 \text{ m}$ Derinlik = $4 \text{ m}$	Yükseklik $\geq 3 \text{ m}$	Uzunluk $\geq 4 \text{ m}$	Alan $\geq 10 \text{ m}^2$
IS 3809	Genişlik = $3 \text{ m}$ Yükseklik = $3 \text{ m}$	Genişlik = $2 \text{ m}$ Derinlik = $4 \text{ m}$	Yükseklik = $3 \text{ m}$	Uzunluk = $4 \text{ m}$	-
JIS A 1304	Genişlik = $2,4 \text{ m}$ Yükseklik = $1,8 \text{ m}$	Uzunluk = $2,4 \text{ m}$ Derinlik = $1,8 \text{ m}$	Yükseklik = $2,4 \text{ m}$	Uzunluk = $2,4 \text{ m}$	-

### 3.4. Test Protokolleri

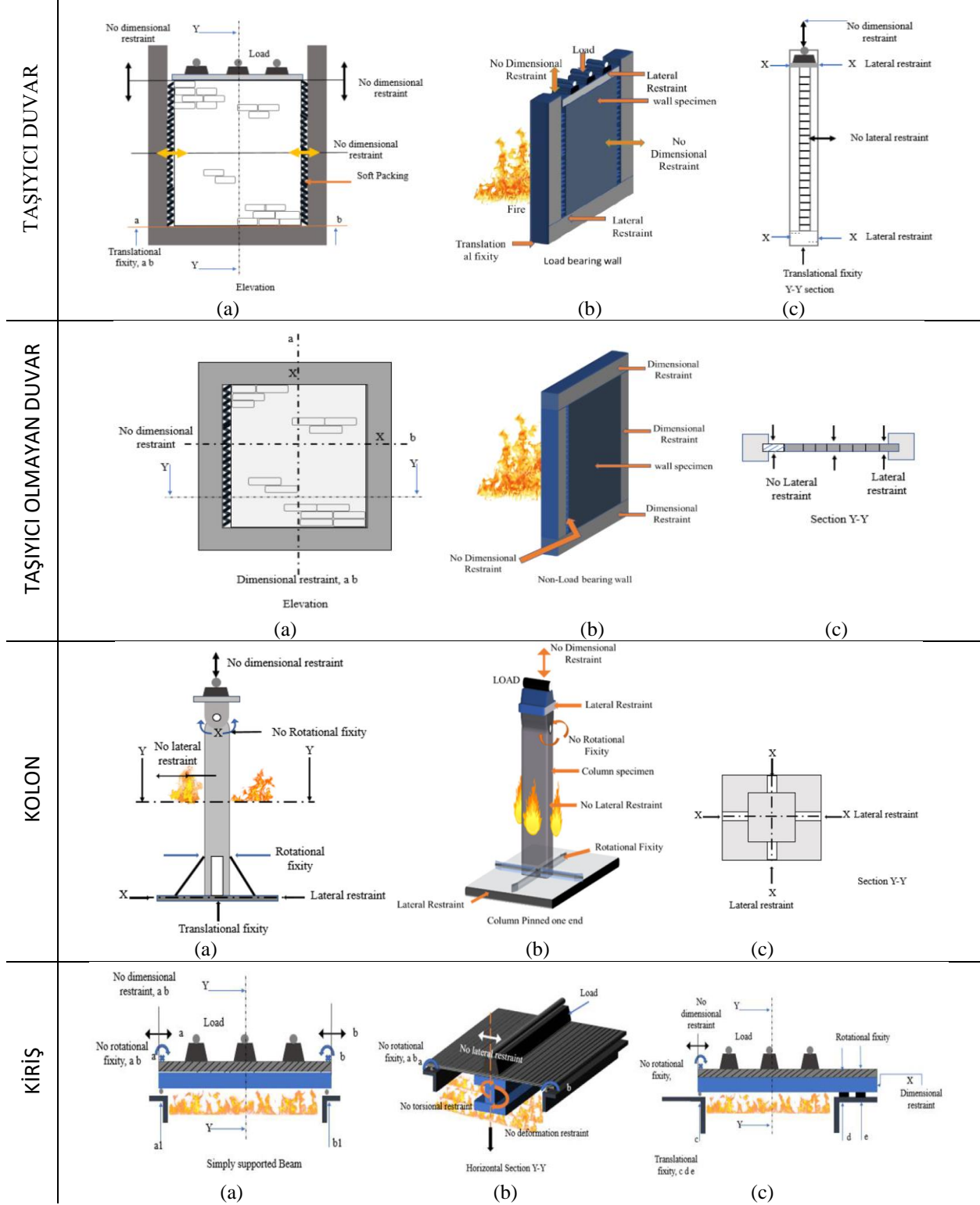
Test protokolleri, test numunelerinin hazırlanması, test düzeneğine yerleştirilmesi, yangına maruz kalma sırasında izlenmesi ve sonuçların kaydedilmesini içermektedir. Her standart, test parametrelerini ve test protokollerini açıkça belirtmektedir. Yangına dayanıklılık testleri için fırın içerisinde alev birçok taraftan uygulanabilir. Bu konuda standartlarda sınırlandırmalar bulunmaktadır. Ülkelere göre uygulanan test protokollerinde farklılıklar görülmektedir. **Çizelge 4**'te standartlarda istenilen fırın içerisinde ısıtmanın hangi taraflardan yapılacağı belirtilmiştir.

**Çizelge 4:** Farklı standartlara göre ısıtma yönleri [4, 5, 7, 9, 10]

Standart	Duvar	Döşeme	Kolon	Kiriş	Asma tavan
ASTM E119					
EN 1363 BS 476				Dört taraftan	
IS 3809	Tek taraflı	Alt taraftan	Dört tarafından	Üç taraftan	Alt taraftan
ISO 834				Üç veya dört taraftan	

Bahsedilen standartlar ısıtma yöntemi olarak benzerlik gösterebilir de protokol olarak farklılıklar vardır. ASTM E119'a göre iç sıcaklık standartta belirtilen denkleme göre artırılmalıdır [4]. BS 476'ya göre termal yükler dikkate alınarak test numunesinin sınırları olabildiğince belirlenmiş olmalıdır ve çapı maksimum  $0,5 \text{ mm}$  olan  $t$  veya  $k$  tipi termokupl kullanılmalıdır [5]. Tüm standartlarda test numunelerini kenarlardan tutan destekler, test sırasında uygulanan kuvvetlere direnmek için yeterli sağlamlığa sahip olmalı ve gerçek hizmet koşullarını sağlamalıdır. Numunelerde yük taşıma kapasitesi, bütünlük ve yalıtım açısından niteliğini kaybettiği süre ve sıcaklık ölçümü yapılır. **Şekil 4**'de test ortamında yapı elemanlarına yönelik sınırlamalara örnek

verilmiştir. Duvarlar tek yönden, döşemeler alttan ve kolonlar dört taraftan yangına maruz bırakılmaktadır.

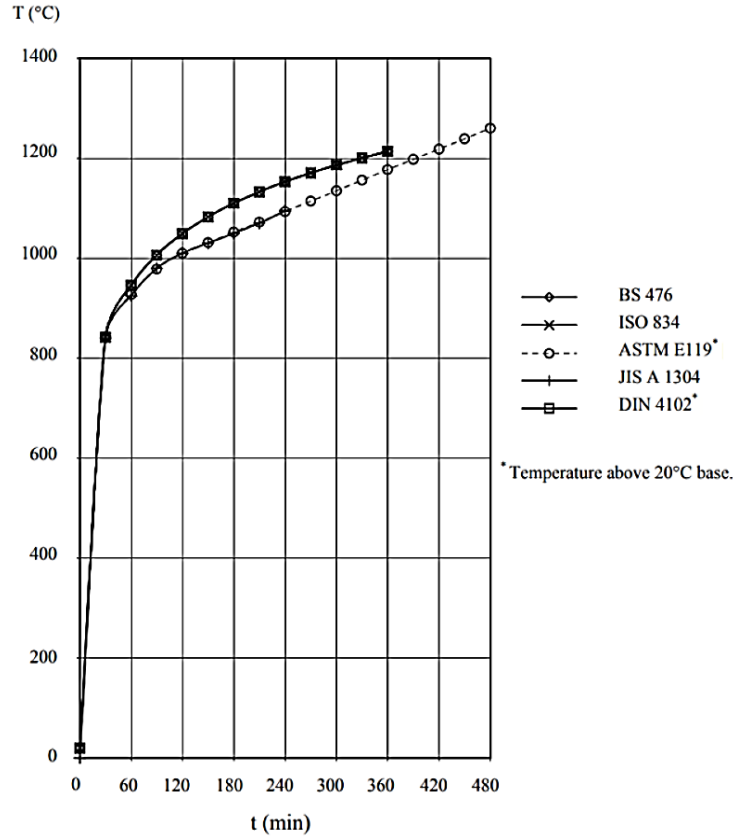


Şekil 4: Yapı elemanlarına yönelik sınırlamalar: (a) 2B, (b) 3B, (c) kesit [3]

Hindistan'da geçerliliği olan IS 3809 standardı BS 476 ile oldukça benzerdir [5, 7]. JIS 1304'e göre numunelere 30 dakika sürelerle yüklü ısı testi (L), sulama testi (W) ve şok testi (S) yapılır. Sonrasında geçtiği testlere göre sınıflandırılır [8]. Örneğin, 2-h WS dendiğinde, 2 saatlik sulama ve şok testini geçtiği ifade eder.

### 3.5. Test Sonuçları

Uluslararası kabul gören standartlar yapı elemanlarının yangına karşı performansını değerlendirmek için belirli sıcaklık/zaman eğrileri kullanır. Şekil 5'te standartlarda geçen sıcaklık/zaman eğrilerinin karşılaştırılması görülmektedir. Yapı elemanının yangına dayanım performansının saptanabilmesi için, yangın ve duman yayılımının sınırlı olması ve yük taşıma kapasitesinin korunması temel kriterlerdir [27]. Her bir standart, yangına maruz kalma koşullarını gerçeğe yakın bir şekilde simüle etmeyi amaçlar ve bu sayede yapı elemanlarının gerçek yangın senaryolarında nasıl davrandığını daha iyi anlamamıza yardımcı olmaktadır.



Şekil 5: Sıcaklık/zaman eğrisi karşılaştırılması [3, 4, 5, 8, 10, 15]

## 4. SONUÇLAR

Bu çalışma, ABD, İngiltere, Hindistan, Japonya, Avustralya, Çin ve Avrupa ülkelerinde kullanılan ISO 834, ASTM E119, BS 476, IS 3809, JIS A 1304, AS 1503, GB/T 9978 ve EN 1363 yapı elemanlarının yangına dayanım performanslarını ölçen test standartlarının karşılaştırmasını

sunmaktadır. Uluslararası kabul gören bu standartlar, yangına dayanıklı yapı elemanlarının emniyetini sağlamak için önemli araçlardır ve yangına dayanım testlerinin temelini oluştururlar. Test standartları, yapı elemanlarının yangına dayanım performanslarını ölçmek için farklı yöntemler sunmaktadır. Her bir standart test prosedürlerini belirlerken, gerçek yangın koşullarını simüle etmeye çalışır. ASTM E119 standardında test edilen yapı elemanları dışında kalan bileşenlere yönelik gereklilikleri içermemektedir. Bahsedilen standartlar yangın sırasında ortaya çıkan zehirli gazlar ve duman miktarıyla veya yapı elemanları dışında kalan tutuşturucu ürünlerin yangın dayanım performansını ne ölçüde etkilediğiyle ilgili bir değerlendirme sunmamaktadır. Ayrıca test numunelerinin yüzeyine yayılan alevle ilgili de herhangi bir ölçüm standardı bulunmamaktadır. Süreçler tek tek incelendiğinde, standartların çoğunun İngiliz (BS 476) standardını takip ettiği görülmüştür.

İzole edilmiş test ortamında uygulanan standart testler, yangının konumu, yayılma hızı, büyüklüğü gibi gerçek yangın olayının öngörülemez doğası nedeniyle, yapı elemanlarının yangına dayanım performansını belirlemenin zorluğu reddedilemez bir gerçektir. Dolayısıyla yapı elemanlarına yönelik standartlarda test düzeneği, test parametreleri, test numunesi ve test protokolü daha detaylıca ele alınıp ek sınırlamalar yapılma ihtiyacı bulunmaktadır. Yapı elemanlarının strüktürel olarak olası yangın senaryolarına uyum sağlayabilmesi için bahsi geçen standartların gelişen teknoloji ve zamanın şartlarına göre periyodik olarak güncellenmesine ihtiyaç duymaktadır.

Sonuç olarak, uluslararası ölçekte farklı ülkelerde kabul gören yapı elemanlarının yangına dayanım performanslarını ölçen test standartları ve prosedürleri arasında farklılıklar olduğu görülmektedir. Standartların içeriği benzer olmalarına rağmen görülen farklılıklar, ülkelerde beklenen yangına dayanım performanslarının farklı olması ve/veya standartların güncelliği ile ilişkilendirilmiştir.

## KAYNAKLAR

1. İBB İtfaiye Daire Başkanlığı (2023). 2018-2022 Dönemi İstatistikleri. İstanbul Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Daire Başkanlığı.
2. Bisby, L.; Gales, J.; Maluk, C. (2013). A contemporary review of large-scale non-standard structural fire testing. *Fire Sci. Rev.* 2, (1). DOI:10.1186/2193-0414-2-1.
3. Chaturvedi, S.; Vedrtam, A.; Youssef, M.A.; Palou, M.T.; Barluenga, G.; Kalauni, K. (2023). Fire-Resistance Testing Procedures for Construction Elements—A Review. *Fire*, 6, (5). DOI:10.3390/fire6010005
4. ASTM E119 (2022). Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials. Erişim: <https://www.astm.org/e0119-20.html>
5. BS 476 (2009). Fire Tests: Firesafe.org.uk. Erişim: <https://www.firesafe.org.uk/british-standard-476-fire-tests/>
6. ASTM E152 (1981). Standard Methods of Fire Tests of Door Assemblies. Erişim: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/12412/317e5525f91d4019b47234581c378f36/ASTM-E152-81AE02.pdf>
7. IS 3809 (1979). Fire Resistance Test for Structures. Bureau of Indian Standards: New Delhi, India. Erişim: <https://ia800900.us.archive.org/9/items/gov.in.is.3809.1979/is.3809.1979.pdf>
8. JIS A 1304 (1994). Method of Fire Resistance Test for Structural Parts of Buildings. Erişim: <http://archive.org/details/jis.a.1304.e.1994>

9. EN 1363 (2011). Fire Resistance Test, Test Method, Fire Test Center. Erişim: <http://firetc.net/firetesting/show.php?itemid=720>
10. ISO 834 (2019). Fire resistance tests, Elements of building construction. Erişim: <https://www.iso.org/standard/66439.html>
11. AS 1530 (2014). Methods for Fire Tests on Building Materials, Components and Structures. Erişim: <https://ablis.business.gov.au/service/wa/australian-standard-as-1530-4-2014-methods-for-fire-tests-on-building-materials-components-and-structures/29570>
12. GB/T 9978 (2008). Fire-resistance tests -- Elements of building construction. Erişim: <https://www.chinesestandard.net/PDF.aspx/GBT9978.1-2008>
13. EN 1365 (2014). Fire resistance tests for loadbearing elements. Erişim: <https://www.thenbs.com/publicationindex/documents/details?Pub=BSI&DocId=308296>
14. EN 1364 (2015). Fire resistance tests for non-loadbearing elements. Erişim: <https://landingpage.bsigroup.com/LandingPage/Series?UPI=BS%20EN%201364>
15. DIN 4102 (2021). Fire behaviour of building materials and elements. Erişim: <https://www.en-standard.eu/din-4102-1-fire-behaviour-of-building-materials-and-elements-classification-of-building-materials-requirements-and-testing/>
16. GB 12955 (2008). Fire resistant door sets. Erişim: <https://www.chinesestandard.net/PDF/English.aspx/GB12955-2008>
17. GB 14102 (2005). Fire resistant shutter. Erişim: <https://www.chinesestandard.net/Related.aspx/GB14102-2005>
18. GB 15763 (2009). Safety glazing materials in building. Erişim: <https://www.chinesestandard.net/Related.aspx/GB15763.1-2009>
19. GB 16807 (2009). Fire intumescent seals. Erişim: <https://www.chinesestandard.net/Related.aspx/GB16807-2009>
20. GB 23864 (2023). Firestop material. Erişim: <https://www.chinesestandard.net/Related.aspx/GB23864-2023>
21. GB/T 7633 (2008). Fire resistance tests - Door and shutter assemblies. Erişim: <https://www.chinesestandard.net/Related.aspx/GBT7633-2008>
22. GB/T 12513 (2006). Fire-resistance tests - Elements of building construction - Glazed elements. Erişim: <https://www.chinesestandard.net/Related.aspx/GBT12513-2006>
23. GB/T 24573 (2009). Fire resistance tests for vault and file room doors. Erişim: <https://www.chinesestandard.net/Related.aspx/GBT24573-2009>
24. Url-1: Fire Resistance Test Furnace, Fire Resistance Test Furnace & Fire Test Apparatus—CMTS. Erişim: <https://www.cmtsproduct.com/fire-resistance-test-furnace/>
25. Chow, W. K. (2001). Review on fire safety management and application to Hong Kong. *Int. J. Eng. Perform.-Based Fire Codes*, 3.
26. Demirel, F., Altındaş, S. (2005). Yapı Elemanlarının Yangına Dayanım Performanslarının Avrupa Birliği Direktiflerine Göre Sınıflandırılması ve Konunun Türkiye–Avrupa Genelinde İrdelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 8, (4).
27. European Commission (2015). M117 The Evaluation Of Construction Product And Elements In Respect Of Their Resistance To Fire, Horizontal Complement To The Mandates To CEN/CENELEC, European Commission, Directorate-General III Industry. Erişim: <https://law.resource.org/pub/eu/mandates/m117.pdf>

# **KULLANICI KONFORU İÇİN DOĞAL HAVALANDIRMA OLANAKLARININ İNCELENMESİ - ÇİFT CİDAR CEPHELİ BİR OFİS BİNASI ÖRNEĞİ**

Sanam Aeinfar<sup>1</sup>  
Nuri Serteser<sup>2</sup>  
İTÜ Mimarlık Fakültesi  
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

## **ÖZET**

*Bina içi ve bina dış ortamı arasında etkin bir havalandırma, Hava Kalitesinin İyileştirilmesi (HKİ), nem kontrolü, bina kullanıcılarının ısı konforu ve binada enerji verimliliği için temel bir gerekliliktir. ASHRAE ve benzer standart ve kılavuzlarda yer alan kapalı mekanlardaki hava değişim oranları, iç mekanların doğal havalandırma ihtiyacını belirlemede önemli bir rol oynar.*

*Bu çalışmada, enerji verimliliği, kullanıcı memnuniyeti, havalandırma stratejilerini optimize etme ve sağlık ile ilgili konular dahil olmak üzere doğal havalandırmanın çeşitli yönleri incelenmektedir. Çift cidarlı cephelerin, havalandırma oranları, hava akış modelleri ve iç hava kalitesi parametreleri üzerindeki etkileri, örnek olarak alınan bir ofis binası modelinde incelenmiştir. Çalışma, farklı doğal havalandırma oranlarının temiz havanın hız ve dağılımını nasıl etkilediğini dikkate alarak termal konfor ve bina kullanıcılarının genel konforuna ilişkin girdileri değerlendirmektedir. Çalışmanın gerçekleştirilmesinde çoklu-yöntem yaklaşımı (multi-method approach) kullanılmıştır. Hava akış modellerini incelemek için CFD benzetiminden, parametrik bina modelleme için Grasshopper yazılımlarından yararlanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, ofis çalışanları için konforlu bir termal iç ortam yaratmada havalandırma oranının önemini vurgulamaktadır.*

*Anahtar sözcükler: Doğal Havalandırma, Havalandırma oranı, İç hava kalitesi, Kullanıcı konforu*

## **ABSTRACT**

*Effective indoor and outdoor air exchange is essential for Air Quality Improvement (AQI), moisture control, occupants' thermal comfort, and energy efficiency. Air exchange rates in indoor spaces included in ASHRAE and similar standards and guidelines play an important role in determining the natural ventilation need of indoor spaces.*

*This study investigates the various facets of natural ventilation, including energy efficiency, improving occupant satisfaction, optimizing ventilation strategies, and health and well-being concerns. The effects of double-skin facades on ventilation rates, air flow patterns and indoor air quality parameters are examined in a digitally modelled office building. The study evaluates inputs into thermal comfort and overall comfort of building users, taking into account how different natural ventilation rates affect the velocity and distribution of fresh air. A multi-method approach was used in carrying out the study. CFD simulation was used to examine air flow models, and Grasshopper software was used for parametric building modelling. The results obtained highlight the importance of ventilation rate in creating a comfortable thermal indoor environment for office workers.*

*Key words: Natural Ventilation, Ventilation rates, Indoor air quality, Occupants' comfort*

<sup>1</sup> e-posta adresi: aeinfar19@itu.edu.tr

<sup>2</sup> e-posta adresi: serteser@itu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Tarihi belgeler, milattan önceki zamanlardan itibaren rüzgarı “hareket eden hava” olarak tanımlamaktadır [1]. Rüzgar, mikroskopik ve mikroskopik olmayan parçacıkların hareketini, ısı değişimi ve nem transferini etkiler; binaların içinde ve dışında ısı ve davranışsal koşulları olumlu veya olumsuz yönde değiştirebilir. İhtiyaç duyulan hava hareket hızları ve miktarlarının dışında soluduğumuz havanın da belirli kalitede olması gereklidir. Bu bağlamda Dünya Sağlık Örgütü'nün hava kalitesi kılavuzları, hava kirliliği alanında faaliyet gösteren düzenleyici otoritelere bilgi ve yönlendirme sağlar [2]. Keza konuyla ilgili standartlar, sağlıklı ortamlar için iç hava kalitesi (IAQ) kriterlerini belirlemektedir. Bu konuda; ASHRAE 180, ASHRAE 55, ASHRAE 62.1, ASHRAE 62.2 ve MD-15161 gibi standartlardan söz edilebilir.

Pasif tasarım unsurları, binalardaki doğal havalandırma performansını artırma potansiyeline sahiptir [3]. Yüksek ve orta yüksekliğe sahip binalarda doğal havalandırmanın etkili kullanımı iç mekan hava kalitesini ve kullanıcı sağlığını önemli ölçüde artırabilir. Pasif tasarım unsurlarının uygulanması, iç mekanlara hava akışını yönlendirmek, termal konforu iyileştirmek ve mekanik havalandırma sistemlerine olan bağımlılığı azaltmak için umut verici bir strateji olarak ortaya düşünülmelidir.

### 1.1. Kapalı Hacimlerde Doğal Havalandırma

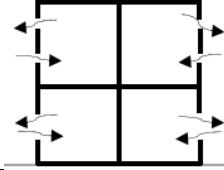
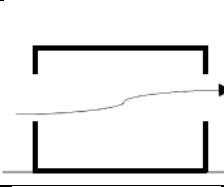
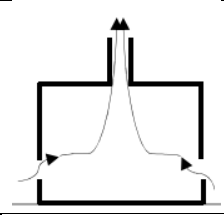
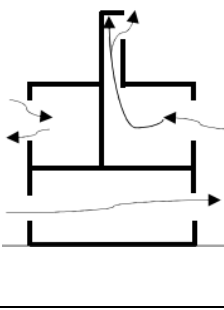
Doğal havalandırma, rüzgar ve yüzdürme kuvvetini (buoyancy) kullanarak iç mekanlara mekanik sistemlere ihtiyaç duymadan taze hava sağlamak için sürdürülebilir bir yaklaşım sunar. Aynı zamanda binalarda iç hava kalitesini düzenlemek ve kullanıcı şikayetlerine çözüm bulmak için sıkça kullanılan bir stratejidir. Sınırlı araştırmalara göre kişi başına 10 l/sn.'ye kadar olan miktarlar semptomları ve memnuniyetsizliği azaltmaya yardımcı olabilir, ancak daha yüksek oranlar etkisizdir [4].

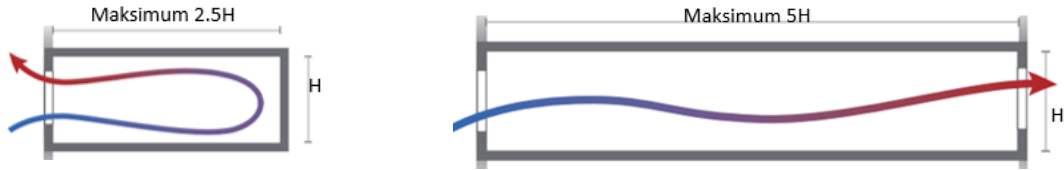
Etkili bir havalandırma sistemi iç mekân hava kalitesini iyileştirerek semptomların, düşük kullanıcı konforu veya olumsuz sağlık koşullarının nedeni olabilecek nem ve kirlenici seviyelerini düşürür [5]. Bir havalandırma sisteminden beklenen, bina içine dış ortamdan taze hava sağlamak ve iç mekândaki kirlenmiş havayı dışarı atarak istenilen sıcaklık, nem ve kaliteye sahip dengeli bir iç ortam yaratmaktır. Bu konu hem mekanik hem de doğal havalandırma seçeneklerini içerir. Binanın içinde ve dışında meydana gelen basınç farkları, yapı kabuğu üzerindeki açıklıklar veya yapısal boşluklar aracılığıyla hava hareketine neden olabilir (**Çizelge 1**). Pencere açma ve kapatma dışında bina kullanıcılarının genellikle doğal havalandırma üzerinde kontrolü oldukça sınırlıdır.

Tek taraflı havalandırma, odadan egzoz havasının çıktığı taraftaki açıklığın taze hava girmesi için kullanıldığı bir havalandırma türüdür. Oda derinliği, yüksekliğin en fazla 2,5 katı değerinde ise bu yöntem mekânı başarılı bir şekilde havalandırabilir. Düşük seviyeli hava girişleri ile yüksek seviyeli hava çıkışları arasındaki sıcaklık farkı, tek taraflı havalandırmayı hareketlendirir [7]. Çapraz havalandırma süreci, bir binanın rüzgar alıp almadığına bağlı olarak, yapı kabuğunun iki tarafındaki açıklıklar arasındaki basınç farklarından dolayı havanın binanın rüzgar almayan tarafına doğru hareket etmesine bağlıdır. Oda derinliği, yüksekliğinin 5 katına dek olan mekanlarda etkin şekilde uygulanabilir (**Şekil 1**).



**Çizelge 1: Doğal havalandırma şemaları**

Tek yönlü havalandırma		<ul style="list-style-type: none"> <li>Doğrusal veya uzatılmış kat planları için idealdir,</li> <li>Hava akışını yönlendirmek, rüzgar basınç farklarına bağlıdır.</li> <li>Yalnızca yatay sürece kısıtlıdır.</li> </ul>
Çapraz havalandırma		<ul style="list-style-type: none"> <li>Yapı kabuğunda bir giriş ve bir çıkış (en az iki açıklık) olan iki tarafında tek yönlü bir havalandırma sistemi bulunur.</li> <li>İki açıklık arasındaki basınç farkı, iç mekandaki havanın akmasını yatay bir şekilde sağlar [6].</li> <li>Tek taraflı havalandırmadan daha fazla taze hava ve İç Hava Kalitesi sağlar.</li> </ul>
Baca havalandırması		<ul style="list-style-type: none"> <li>Binanın yüksekliğinden kaynaklanan sıcaklık farklılıklarından yararlanır.</li> <li>Sıcak hava yükselirken soğuk hava alt kısımlara yerleşir ve doğal bir hava akışı oluşturur.</li> <li>Sıcak hava yükselirken, binanın içindeki hava basıncını artırır ve dışarıdaki havayı içeriye çeker.</li> </ul>
Kombine strateji havalandırması		<ul style="list-style-type: none"> <li>Farklı havalandırma yöntemlerinin avantajlarını birleştirerek en etkili havalandırma çözümünün sağlanmasını amaçlar.</li> <li>Değişen hava koşullarına ve kullanıcı ihtiyaçlarına uyum sağlayabilen esnek bir yaklaşım sunar.</li> <li>Adaptasyonu değişen çevresel koşullara ve bina yapılandırmalarına izin verir.</li> <li>Farklı açıklık yapılandırmalarını, yatay ve dikey düzenlemeleri içeren çeşitli düzenlemelere uyum sağlayarak, rüzgar ve ısıl taşın etkilerini kullanarak hava değişimini ve dolaşımını kolaylaştırır.</li> </ul>



**Şekil 1: Tek yönlü ve çapraz havalandırma koşulları**


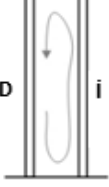

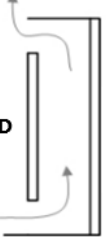
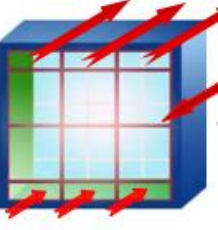
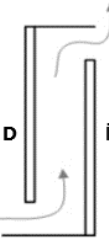
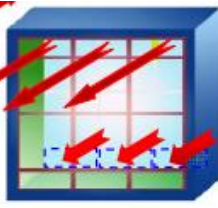
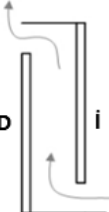
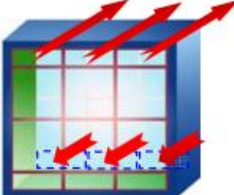
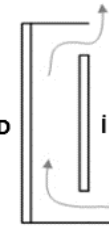
## 1.2. Çift Cidarlı Cephe (DSF) ve Açıklıkların Havalandırma Hızları Üzerindeki Etkileri

Yüksek ve orta yükseklikteki binalarda DSF sistemlerinin uygulanması, doğal havalandırma ve diğer iç konfor faktörlerinin iyileştirilmesinde kritik bir rol oynamaktadır. DSF özellikle ofis binalarında faydalı olan baca etkisinden yararlanarak havalandırmayı ve konforu artırır. Bu süreç, yüksek dış ortam gürültü seviyeleri veya kuvvetli rüzgar hızlarının bulunduğu ortamlarda dahi doğal havalandırmayı kolaylaştırır.

DSF sistemleri son derece esnek olup hava koşullarındaki ani değişimlere hızlı bir şekilde uyum sağlama kabiliyetine sahiptir. Bu esneklik DSF işletme modunda veya kontrol stratejisinde yapılan ayarlamalar aracılığıyla gerçekleştirilebilir. Dış ve/veya iç cephe üzerindeki açıklıkların pozisyonunun değiştirilmesi, çift cidar boşluğunda yer alan perdelerin veya gölgelendirme

elemanlarının ayarlanması ve boşluk içindeki hava akış hızının değiştirilmesi bu ayarlamalara örnek olarak verilebilir (**Çizelge 2**). Her bir değişiklikle birlikte DSF'nin performansı da değişir.

**Çizelge 2:** DSF'nin hava boşluğundaki havanın kaynağı ve hedefine göre sınıflandırılması [1] [8].

		<ul style="list-style-type: none"> <li>· Kabuk boşluğunun yalıtım modu, aynı zamanda tampon bölge olarak da bilinen bir işletme modudur.</li> <li>· Genellikle daha soğuk mevsimlerde yaygın olarak kullanılır.</li> <li>· Çift cepheli cephe boşluğundaki tüm açıklıklar kapatılır ve iç veya dış hava ile herhangi bir hava alışverişi engellenir.</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>· Dış hava perdesi modu</li> <li>· Hava, boşluğa yerleştirilmiş olan cam sistemi ve/veya gölgelik cihazı tarafından yakalanan güneş radyasyonu nedeniyle ısıtılır.</li> <li>· Hava akışı, yerçekimi ve rüzgar tarafından yönlendirilir.</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>· Ön Isıtma modu (Hava Beslemesi)</li> <li>· Dış cephe altındaki açıklıklar çift cidar boşluğuna ve iç cephenin üst tarafındaki açıklıklar iç mekana açıktır.</li> <li>· Hava akışı genellikle binadaki mekanik bir sistem tarafından yönlendirilir.</li> <li>· Genellikle güneş radyasyonunun güçlü olduğu ara mevsimlerde, dış hava sıcaklığı düşükken kullanılır.</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>· Egzoz modu (Hava Tahliyesi)</li> <li>· Bu işlevsel modda, dış cephe üst tarafından dış ortama ve iç cephe alttan çift cidar boşluğuna açıktır.</li> <li>· Cephe boşluğundaki baca etkisi, binadan havanın tahliyesini artırmak için kullanılır.</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>· İç hava perdesi modu.</li> <li>· İç cephenin üst ve alt kısımlarındaki açıklıklar çift cidar boşluğuna açıktır.</li> <li>· Genellikle serin mevsimlerde kullanılır.</li> <li>· Sıklıkla bir ısı geri kazanım ünitesi ile birlikte kullanılır.</li> </ul>

Bu çalışmanın amacı, çift cidarlı bir bina cephesinin dış cephe bölümü üzerine yerleştirilen bir kanalla çift cidar boşluğuna alınacak taze havanın, iç cephede kanalla aynı aks üzerindeki bir pencere vasıtasıyla bina içi ortama alınmasını, bu sayede iç ortamın doğal olarak havalandırılma olanaklarını araştırmaktır.

## 2. ÇİFT CİDARLI CEPHE HAVALANDIRMASI

Mimarlar, binalar içinde hava akışını optimize etmek için çeşitli mimari unsurları kullanır; bunlar arasında pencereler, saçaklar, balkonlar, rüzgar yakalayıcılar ve cephe tasarımları bulunur [12]. Doğal havalandırma stratejilerinin pasif soğutma sağlayarak mekanik havalandırma sistemlerine olan bağımlılığı ve enerji tüketimini önemli ölçüde azalttığı tespit edilmiştir. Oropeza ve diğerleri, Meksika'daki konutlardaki klima talebinin %54'ünün doğal havalandırma ile azaltılabileceğini ifade etmektedir. Dolayısıyla mekanik havalandırma gereksinimlerindeki azalma sadece enerji verimliliğine katkıda bulunmakla kalmayıp aynı zamanda HVAC sistemleri ile ilişkilendirilen sera gazı emisyonlarını azaltarak çevresel sürdürülebilirlik hedefleriyle uyum sağlamaktadır [13].

Doğal havalandırma için optimal cephe tasarımını etkileyen temel faktörleri araştırmak ve binalardaki hava dolaşımı üzerinde farklı geometrilerin etkisini incelemek amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Binaların cephe açıklıkları, incelenen faktörlerden birisidir ve bu tasarım parametresinin doğal havalandırma performansını nasıl etkilediğine dair kapsamlı bir bakış açısı sağlamaktadır. Matour ve diğerleri tarafında yapılan çalışmada DSF'in ön ve yan tarafında bırakılan açıklıkların alanları arasındaki oranın, rüzgarın 0° ila 30° arasındaki cepheye geliş açılarında çift cidar arasındaki havalandırmanın artmasında etkili olduğu; cepheye geliş açısının 60° ve 90°'ye doğru arttığında ise cephe üzerindeki açıklık boyutunun kritik hale geldiği belirtilmiştir [11].

DSF'in dış cephesi üzerinde merkezi bir açıklık, değişen rüzgar hızlarında boşluk havalandırma homojenliği ve hızı açısından diğer durumlardan daha iyi performans gösterirken, cepheye dik bir rüzgar yönünde dış cephedeki açıklıkların sayısını artırmak yalnızca düşük rüzgar koşullarında faydalı olabilmektedir. Dolayısıyla dış cephesinde açıklık bulunan çift cidarlı cepheler, farklı bina yükseklikleri ve rüzgar yönleri için dış cephe açıklıkları optimize edilerek, iç ortamdaki doğal havalandırma koşullarını iyileştirebilen bir alternatif olarak sunulabilir. Bazı çalışmalarda, sıcak bölgelerdeki DSF entegrasyonundan kaynaklanan soğutma enerjisi tasarruflarının %17 ila %43 arasında değiştiği belirtilmektedir [10][11]. Benzer şekilde başka bir çalışmada çift cidarlı cephenin havalandırma hızı ve ısı çevre özelliklerine rüzgar profili ve yönünün etkisini incelenmiştir. Çalışmada, rüzgar profili ve yönünün çift cidarlı cephe performansını önemli ölçüde etkilediği ve bulguların enerji verimli binaların tasarımı ve inşası için yararlı olabileceği ifade edilmektedir [14].

## 3. SAYISAL MODEL

Bu çalışma için DSF'li bir binanın giriş katındaki bir ofis mekanı, İstanbul'un iklim koşulları göz önüne alınarak sayısal ortamda modellenmiştir. Çift cidarlı cephenin dış cephe bölümünde, ofis cephe genişliğini ortalamak parpet bölümüne bir hava kanalı yerleştirilmiş, bu kanaldan önce çift cidar arasına daha sonra iç cephe üzerinde kanalla aynı aksa yerleştirilmiş bir pencereden mekana doğru hava akışının gerçekleşmesi planlanmıştır. İç cephe üzerindeki pencere üstten menteşeli ve iki cephe arasındaki boşluğa doğru 20°'lik açı yaparak açılması, bu sayede hava kapanı biçiminde çalışması düşünülmüştür. İç mekanda çapraz havalandırma oluşması için mekanda pencere duvarının karşısındaki duvarda bir açıklık bırakılmıştır. Sayısal ofis modeli ve mekanı oluşturan elemanlara ait tasarım parametreleri Çizelge 3'te yer almaktadır.

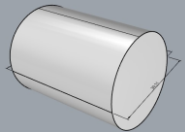
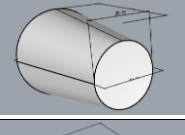
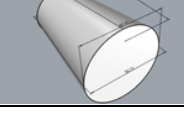
**Çizelge 3:** Sayısal olarak benzetimi yapılan ofis mekanı ve tasarım parametrelerinin listesi

Tasarım parametreleri					
Yapı elemanları	Malzeme	Toplam kalınlık (mm)	Yoğunluk kg/m <sup>3</sup>	Isı iletkenlik hesap değeri (W/mK)	Isı iletkenlik direnci (m <sup>2</sup> K/W)
Dış duvar	Yalıtım	130	43	0.03	4.55
	Beton	180	2240	1.95	
	Alçı levha	20	800	0.16	
Çatı	Yalıtım	220	43	0.03	7.55
	Beton	180	2240	1.95	
	Alçı levha	20	800	0.16	
Döşeme	Beton	180	2240	1.95	0.217
	Alçı levha	20	800	0.16	
İç cephe (DSF)	Beton	180	2240	1.95	-
	Cam	15	2220	1.03	
Dış cephe (DSF)	Beton	180	2240	1.95	-
	Hava (hareketli)	-	-	-	

Dış cephede yer alacak hava kanalı için üç farklı alternatif oluşturulmuş, kanalların derinlik ve çaplarını belirleyen önceden tanımlanmış bir sürece göre parametrelendirilmiştir. Alternatiflerde kullanılan kanalların hava giriş açıklık çapı  $D_i$ , hava çıkış açıklık çapı  $D_o$  ile ifade edilmiştir. Alternatif 1 (Alt 1), hava giriş ve çıkış kesitlerinin aynı olduğu boru biçimli bir kanal, diğer iki kesite sahip kanallarla hava akış hızlarının karşılaştırılması amacıyla referans olarak alınmıştır. Alternatif 2 (Alt 2), hava giriş açıklığı çıkış açıklığından daha dar; Alternatif 3 (Alt 3) ise hava giriş açıklığı çıkış açıklığından daha geniş bir kanal modelini temsil etmektedir (**Çizelge 4**).

Rüzgarın, kanal giriş açıklığı önünde 1,5 m/s hıza sahip olduğu ve cepheye dik geldiği kabul edilmiştir. Mekanda başka bir havalandırma olanağı bulunmadığı için sadece mekana giren havanın hızı ve miktarı ölçülmüştür. Çift cidar arasına giren ve iç mekana geçen hava hızlarındaki değişimler, kanal ve pencerenin orta aksından geçen iki boyutlu (2B) bir geometri üzerinde incelenmiştir.

**Çizelge 4:** Cephedeki parametrik hava kanallarının biçimsel özellikleri ve hava giriş ve çıkış ağız çapları

<b>Alt 1</b> $D_i = 30$ cm $D_o = 30$ cm Derinlik = 40 cm	
<b>Alt 2</b> $D_i = 20$ cm $D_o = 30$ cm Derinlik 40 cm	
<b>Alt 3</b> $D_i = 30$ cm $D_o = 20$ cm Derinlik = 40 cm	

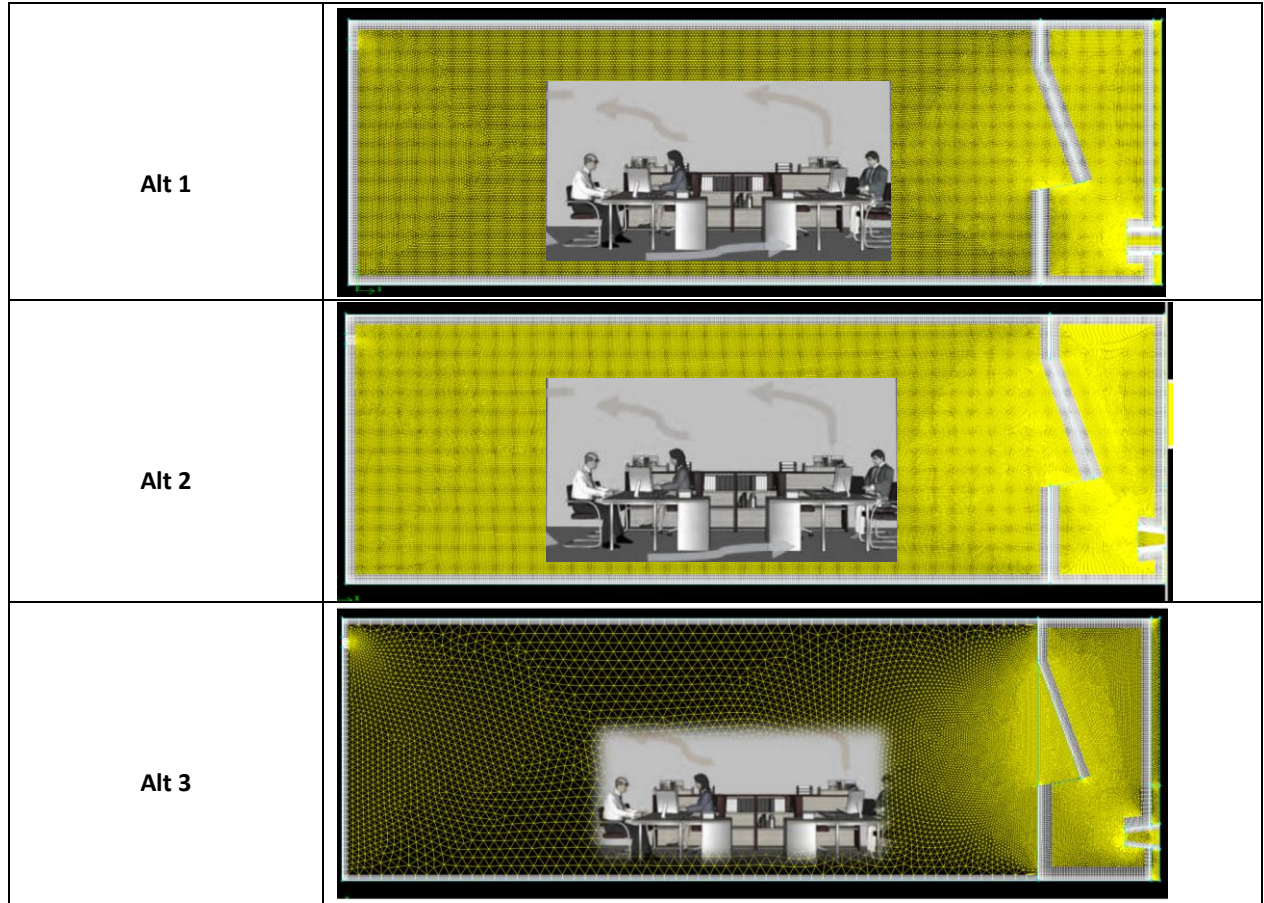
Rüzgar kanalı konfigürasyonlarının havalandırma performansı üzerindeki etkisini araştırmak için bu parametrik çalışmada paralel bir algoritma oluşturulmuştur.

### 3.1. Çalışmanın Yöntemi

Bu çalışmada Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) analizi yapılmıştır [9][10][11]. Analizde RNG k-ε türbülans modelleriyle ANSYS FLUENT 17.2 yazılımı kullanılmıştır. Ayrıca cephe üzerindeki kanalların havalandırma etkisini parametrik olarak belirleyebilmek için Rhino ve Grasshopper yazılımlarından yararlanılmıştır. Rhino ve Grasshopper'ın kullanımı, parametrik modelleme, otomatik varyasyonlar, simülasyon entegrasyonu, veri analizi ve görselleştirme gibi birçok avantaj sağlamaktadır [15]. Bu bağlamda sayısal olarak modellenen ofis mekanı Rhino/Grasshopper7 yazılımında parametrik olarak oluşturulmuştur.

### 3.2. Ağ (Mesh) Tasarımı

Rüzgar etkilerini göz önünde bulundurmak amacıyla dış cepheye bitişik dış ortamın bir bölümü, iki boyutlu hesaplamalı alanına dahil edilmiştir. Havalandırma cephenin 2B geometrisi, Fluent'in geometri ve ağ oluşturma yazılımı olan Gambit kullanılarak meydana getirilmiştir. Şekil 2'de Gambit kullanılarak oluşturulan sayısal model kesiti ve ağları görülmektedir. Sayısal 2B modellemede triangle ve quadrilateral ağ yapıları kullanılmıştır.



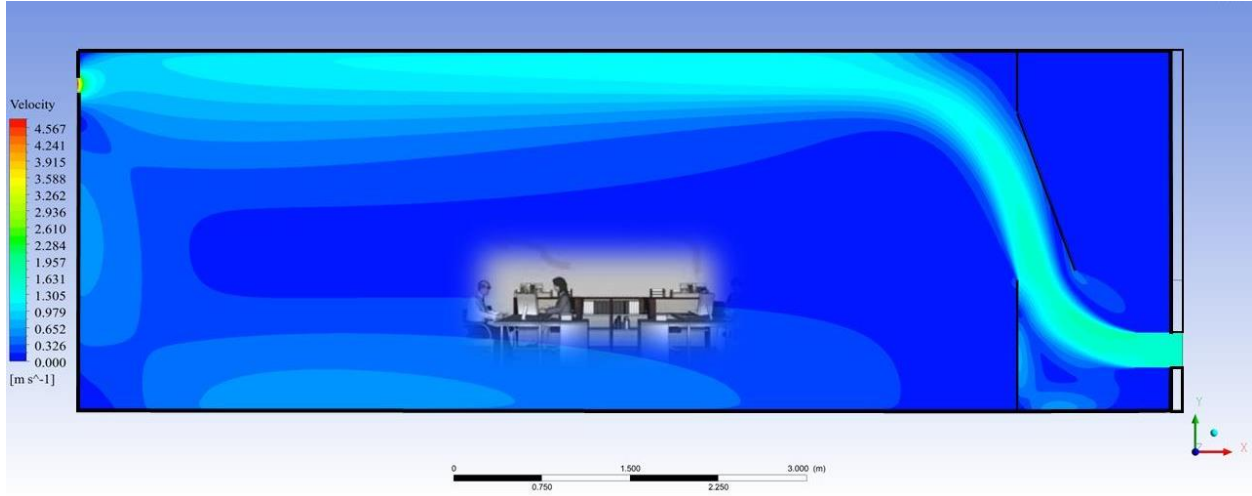
Şekil 2: Alternatif kanal kesitleri için sayısal model kesiti ve oluşturulan ağ sistemi

#### 4. DEĞERLENDİRME ve SONUÇ

Çift cidarlı cephenin dış cephe bölümü üzerindeki kanallardan çift cidar arasına ve sonra iç cephe üzerindeki açık bırakılan pencereden de ofis mekanına giren taze havanın dağılımı ve bunun meydana getirdiği konturlar, 3 farklı kanal alternatifi için sayısal olarak elde edilmiştir.

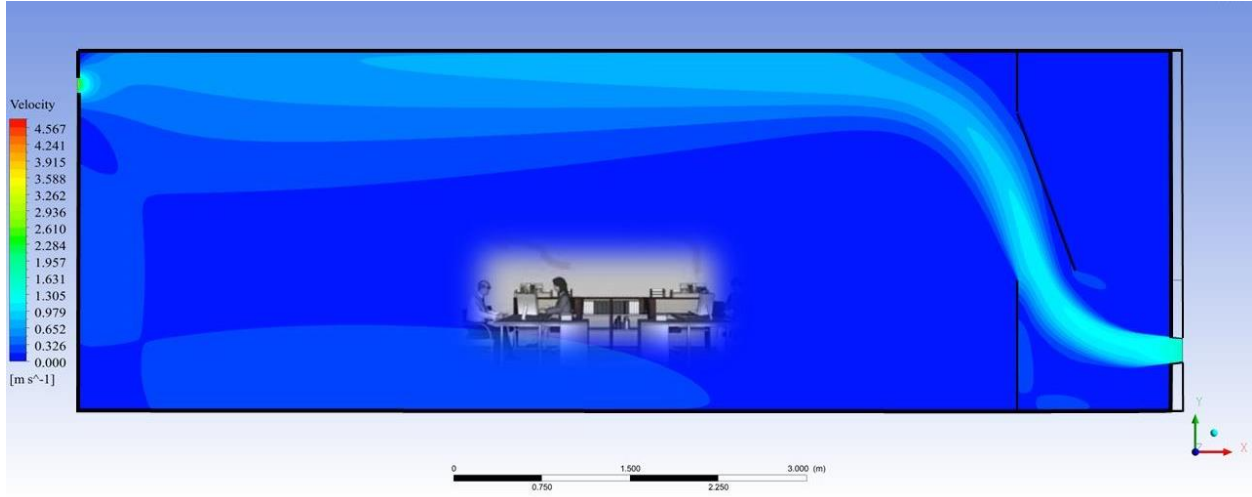
Alternatiflerin meydana getirdiği hava akımları incelendiğinde, her üç alternatifte de dış kabuk üzerine yerleştirilen kanallardan çift cidar arasına ve açık olan pencere vasıtasıyla ofis mekanına hava girişi gerçekleşmektedir. İç cephe üzerindeki pencereden ofise giren hava, pencerenin kanadına paralel şekilde mekana doğru yönelmekte ve tavan boyunca hava akımları oluşturarak mekanı sınırlayan duvar bölümüne dek ulaşmaktadır. Her üç alternatifte de tavandaki hareketli hava mekanın zeminine doğru kademeli olarak hızını azaltmaktadır. Kesitteki kat yüksekliğinin ortalarında hava neredeyse durağan hale gelmekte, zeminde ise oldukça sınırlı hava hızları oluşmaktadır.

Referans olarak alınan Alternatif 1’de çift cidara giren hava hızında önemli bir düşüş olmadan çift cidara girdiği ve buradan benzer bir hız ve miktarla mekana doğru ilerlediği belirtilebilir. Çift cidara giren hava tavan boyunca yayılarak ilerlemiş ve zemine doğru hızında aşamalı bir düşüş gözlenmiştir (Şekil 3).



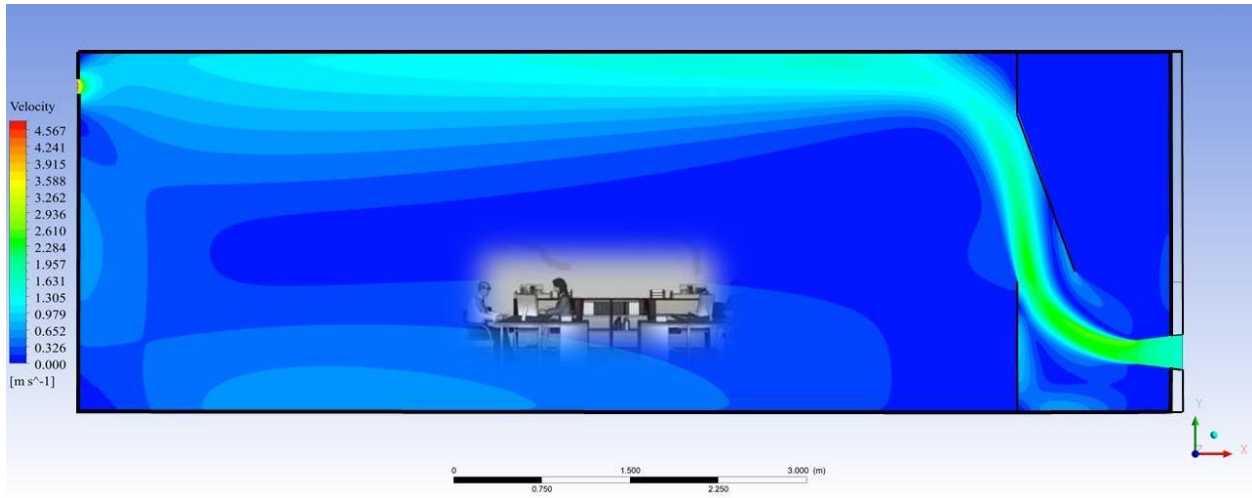
Şekil 3: Alt 1 hava akış hız konturları

Alternatif 2’de dar giriş ağzından geçen hava geniş olan çıkış ağzından çift cidara hızını azaltarak girmektedir. Hızdaki azalmanın kesitin çıkış bölümündeki genişlemeye bağlı olduğu görülmektedir. Mekana giren havanın hızı, referans kesit olan Alternatif 1’den daha düşük değerdedir. Bundan dolayı mekanın tavan bölümünde de daha düşük hızlar meydana gelmektedir (Şekil 4).



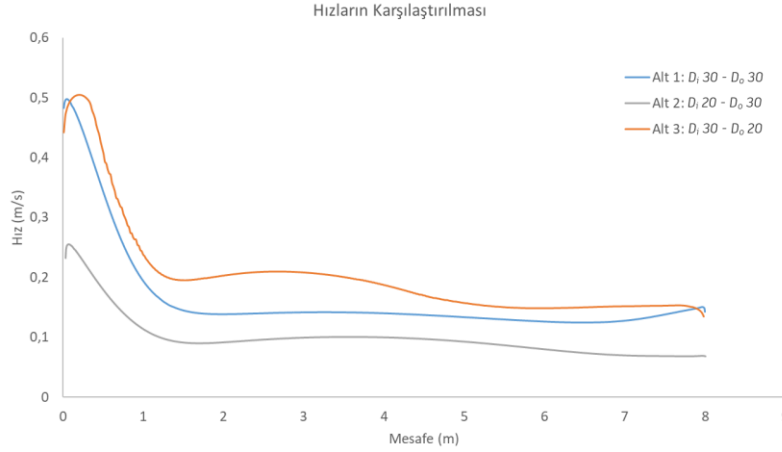
Şekil 4: Alt 2 hava akış hız konturları

Alternatif 3’de, geniş giriş ve dar çıkış ağzı bulunan kanaldan geçen havanın hızlanarak çift cidar arasına girdiği ve bu havanın açık olan pencereden geçerek mekana yayıldığı söylenebilir. İçeriye kanalize olmuş halde giren hava, mekan tavanında hızını azaltarak yayılmaya devam etmiştir. Diğer alternatiflerle karşılaştırıldığında hız değerinin en yükseğe ulaştığı alternatiftir. Çift cidara giren havanın hızlanması, kanal kesitindeki daralmayla ilişkilendirilebilir (Şekil 5).



Şekil 5: Alt 3 hava akış hız konturları

İç mekanda oluşabilecek hızlar için kriter değer olarak ASHRAE 55’de yer alan  $0,2 \text{ m/s}$  değerinin aşılmaması önerilmekte, en çok da  $0,8 \text{ m/s}$  değerine çıkılabileceği belirtilmektedir. Şekil 6’da yer alan grafikte kesit düzleminde oluşan maksimum değer Alt 3’de pencere yakınında  $0,5 \text{ m/s}$ ’nin biraz üzerinde olduğu mekanın geri kalanında ise bu değer  $0,2 \text{ m/s}$  civarında seyrettiği görülmektedir.



**Şekil 6:** Hızların mekan derinliği boyunca değişimi

Sonuç olarak yapılan kabullere uygun şekilde yürütülen sayısal benzetime göre; çift cidarlı bir ofis binasının dış cephe bölümüne doğal havayı mekana almak üzere yerleştirilen kanallar, havanın çift cidar boşluğuna girmesine imkan tanımakta; çift cidara açılan iç kabuk üzerindeki bir pencereden mekana geçebilmektedir. Bu durum, çift cidara komşu olan mekanların doğal olarak havalandırılması konusunda pasif bir imkan yaratmaktadır. Kuşkusuz iç ortama alınan havanın yılın tüm zamanlarında mekanın ihtiyaç duyduğu havalandırmayı karşılaması imkansızdır. Ancak özellikle mekanik havalandırmanın yükünün yılın hatta günün belirli zamanlarında azaltılması ve enerji ekonomisi sağlanması yönünde katkı sağlayabilecek bir alternatif modele dönüştürülebilir. Bunun için daha fazla parametrenin ihtiyaç duyulan havalandırma miktarının belirli bir oranını karşılamak üzere 3. boyutta analiz edilmesi gereklidir. Yapılacak yeni çalışmalar çift cidarlı cephelerin doğal havalandırmaya olan katkısını büyük oranda geliştirecektir.

## KAYNAKLAR

1. 10. Wallace, J. M., & Hobbs, P. V. Atmospheric science: An introductory survey. Publisher. (2006). <https://doi.org/10.1016/C2009-0-00034-8>.
2. Air quality guidelines for Europe. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, (WHO Regional Publications, European Series, No. 23) (1987).
3. Nejat, P., et al., Evaluation of a two-sided wind catcher integrated with wing wall (as a new design) and comparison with a conventional wind catcher. Energy and Buildings, (2016). 126: p. 287-300.
4. JOUR. AU - Godish, Thad AU - Spengler, John D. TI - Relationships Between Ventilation and Indoor Air Quality: A Review JO - Indoor Air VL - 6 IS - 2 SN - 0905-6947 UR - (1996). <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.1996.00010.x>
5. <https://www.canada.ca/en/health-canada.html>
6. Antony Wood & Ruba Salib, CTBUH Technical Guide Natural Ventilation in High-Rise Office Buildings An output of the CTBUH Sustainability Working Group, (2013).
7. Passe, U. and F. Battaglia, Designing Spaces for Natural Ventilation: An Architect's Guide. (2015):643 Routledge.



8. Souza, L., H. Souza, and E. Rodrigues, Experimental and numerical analysis of a naturally ventilated double-skin façade. *Energy and Buildings*, (2018). 165: p. 328-339.
9. Ding, W., Hasemi, Y., Yamada, T., Natural ventilation performance of a double-skin facade with a solar chimney. *Energy and Buildings* (2005),37 (4), 411–418.
10. Hassanli, S., Jafari, S. A. H., Eftekharian, E., & Kwok, K. C. S. Performance assessment of cascaded wind turbines inside through-building openings. In *Proceedings of the 9th Asia-Pacific Conference on Wind Engineering* (pp. 1-8). Auckland, New Zealand, (2017).
11. Matour, S., V. Garcia-Hansen, R. Drogemuller, S. Omrani, Adaptation of Double Skin Facade for warm climate from a wind harvesting perspective in tall buildings, in: *53rd International Conference of the Architectural Science Association*, (2019).
12. Zheng, X., Thermal Comfort Research in Naturally Ventilated High-Rise Residential Building: For one student dormitory with field study and simulation approach. (2015).
13. Jung, W. and F. Jazizadeh, Human-in-the-loop HVAC operations: A quantitative review on occupancy, comfort, and energy-efficiency dimensions. *Applied energy*, (2019). 239: p. 1471-1508.
14. Geum-Hee Kim, Hyuk-Min Kwon & Jeong-Hoon Yang, Ventilation Rate and Thermal Environment Properties of Double Skin Façade Considering Wind Profile and Direction, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 16:3, 675-682, DOI: 10.3130/jaabe.16.675, (2017).
15. Terzidis, K., *Algorithmic Architecture* (1st ed.). Routledge. (2006). <https://doi.org/10.4324/9780080461298>

# ŞEREFİYE SARNICI'NIN MÜZİK İŞLEVİNE YÖNELİK OLARAK HACİM AKUSTİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Beyza Akın<sup>1</sup>  
Mehmet Nuri İlgürel<sup>2</sup>  
YTÜ Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü  
Yıldız Kampüsü D Blok, Beşiktaş, İstanbul, 34349

## ÖZET

*Tarihi mekanların yeniden işlevlendirilmesi ve aktif olarak kullanılması miras yapılarının korunması açısından oldukça önemlidir. Yeniden işlevlendirme uygulamaları sayesinde kültürel miras unsuru olan tarihi yapılar, gelecek nesillere aktarılabilir. Bu doğrultuda, miras yapılarının insan kulağı tarafından algılanan ses ortamları da doğal olarak kültürel mirasın birer parçası sayılmaktadır. Bu çalışmada, İstanbul'un Erken Bizans Dönemi'ne tarihlenen kapalı sarnıçlarından birisi olan ve günümüzde ağırlıklı olarak çeşitli klasik müzik konserlerine ev sahipliği yapan Şerefiye Sarnıcı'nın akustik özellikleri, akustik ölçüm yöntemiyle belirlenmiş olup, sarnıcın mevcut akustik koşullarının sarnıçta gerçekleştirilen müzik işlevli etkinliklere uygunluğu; Yansıma Süresi (RT), Erken Düşme Süresi (EDT), Netlik (C80) parametreleri ve arka plan gürültüsü verileri için incelenmiştir.*

*Anahtar sözcükler: Mimari akustik, Kültürel miras, Hacim akustiği, Akustik ölçüm, Şerefiye Sarnıcı*

## ABSTRACT

*The rehabilitation and active use of historical venues are crucial for the preservation of heritage buildings. Through adaptive reuse practices, historical structures, which are cultural heritage assets, can be passed down to future generations. In this context, the sound environments perceived by the human ear within heritage buildings are naturally considered integral parts of cultural heritage. This study examines the acoustic characteristics of Şerefiye Cistern, one of Istanbul's close cisterns dating back to the Early Byzantine Period, which currently hosts various classical music concert events. The acoustic properties of the cistern were determined using acoustic measurement methods, and the suitability of the existing acoustic conditions of the cistern for music-oriented events held within it was investigated based on parameters such as Reverberation Time (RT), Early Decay Time (EDT), Clarity (C80) and background noise levels.*

*Key words: Architectural acoustics, Cultural heritage, Room acoustics, Acoustical measurements, Şerefiye Cistern*

<sup>1</sup> e-posta adresi: beyza.akin@std.yildiz.edu.tr

<sup>2</sup> e-posta adresi: milgurel@yildiz.edu.tr

## 1.GİRİŞ

İnşa edildiği dönemde kentlerin ve/veya bireylerin su ihtiyaçlarını karşılamak için depolama amacıyla kullanılan sarnıçlar, günümüzde modern su teknolojilerinin gelişmesiyle beraber inşa edildiği dönemdeki işlevlerini yitirerek atıl hale gelmiştir. Özgün mimari ve malzeme özellikleri sebebiyle özellikle İstanbul Tarihi Yarımada'da bulunan Bizans dönemi sarnıçları, korunması ve gelecek nesillere aktarılması gereken önemli miras yapı gruplarından bir tanesidir. Miras yapılarının gelecek nesillere aktarılmasına ve aynı zamanda yapının korunmasına katkı sağlayan önemli uygulamalardan biri ise mimari miras yapılarının günümüz kullanımlarına uygun olarak yeniden işlevlendirilmesidir.

Yeniden işlevlendirilen tarihi yapıların mevcut akustik koşullarının yeni işlevlerine uygunluğunun araştırılması, günümüzde mimari akustik bilimi içerisinde önemli bir konu başlığı haline gelmiştir. Miras yapılarına modern kullanım gerekliliklerine uygun olarak getirilecek yeni işlevler, yapının akustik koşullarını iyileştirmeye yönelik uygulamaları/fiziksel müdahaleleri gerektirebilir. Bu doğrultuda özellikle müzik ve konuşma fonksiyonu kazandırılarak yeniden işlevlendirilen miras yapılarının mevcut akustik durumunun belirlenmesi konusu önem arz etmektedir. Bu çalışmada, günümüzde inşa edildiği dönemki işlevinden tamamen farklı bir işlevle kullanılmakta olan Şerefiye Sarnıcı'nın mevcut akustik koşulları akustik ölçüm yöntemi ile belirlenmiş olup müzik fonksiyonuna yönelik değerlendirmeler sunulmaktadır.

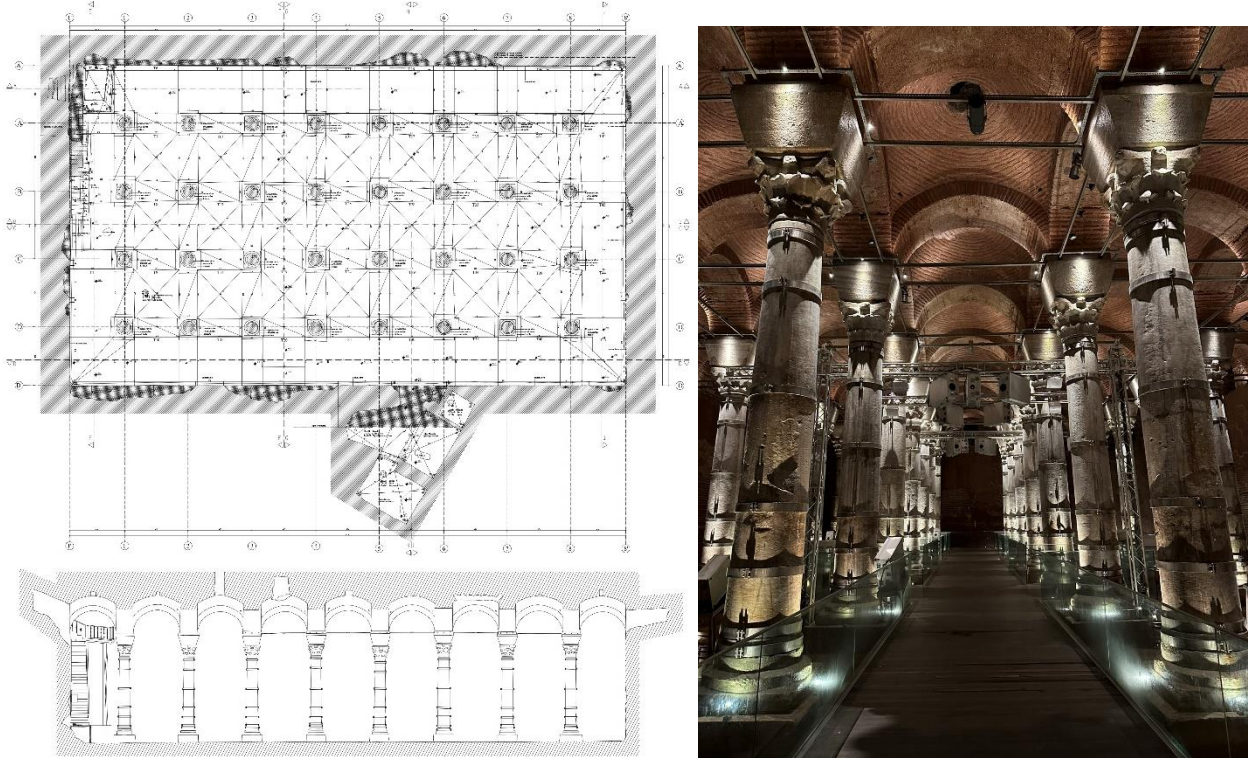
V. yy' ın ikinci çeyreğine tarihlenen Şerefiye Sarnıcı, kaynaklarda geçen diğer adıyla Theodosius Sarnıcı, İstanbul ili Fatih ilçesi Binbirdirek Mahallesi'nde yer almaktadır. Yaklaşık 1600 yıllık bir geçmişe sahip olan Erken Bizans Dönemi sarnıcı, 2010-2018 yılları arasında İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından kapsamlı bir restorasyon çalışması geçirmiştir. Geçirdiği restorasyon çalışmasının ardından 2018 yılında İBB' ye bağlı kültür yapısı olarak ziyarete açılan Şerefiye Sarnıcı, müze statüsünde günümüzde çeşitli kültürel etkinliklere ev sahipliği yapmaktadır. Sarnıçta Klasik ve Barok Müziği konserlerinin yanı sıra çello, kontrbas, flüt, keman ve viyolonsel gibi enstrümanlarla solo konserler düzenlenmektedir (Şekil 1).



Şekil 1: Şerefiye Sarnıcı'nda gerçekleştirilen bir konser etkinliğine ait bilgi afişi (sol), etkinliğe ait fotoğraflar (orta ve sağ)

Sarnıca ait rölöve ve restorasyon projeleri; İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanlığı'na bağlı Kültür Varlıkları Dairesi Başkanlığı Kültür Varlıkları Projeler Şube Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Sarnıç dikdörtgen plan şemasına sahiptir (Şekil 2). Yapının genişliği yaklaşık 24 m, uzunluğu ise yaklaşık 41 m'dir. Yapının genel taşıyıcı strüktürünü, yaklaşık 5 metre yüksekliğindeki 32 adet sütun ve 45 adet yelken tonoz oluşturmaktadır. Yapının yüksekliği

zeminden tonoz içine kadar yaklaşık 11 m'dir. Sütunların sekizi uzunlamasına, dördü ise genişlemesine olacak şekilde sırayla 4,7 ile 5 m aralıklarla sıralanmaktadır. Sütunların çapları yaklaşık 80 cm'dir. Yapının zemin ve tavan malzemesi genel olarak tuğla malzeme olup beden duvarlarında su geçirimsizlik özelliği ile bilinen horasan harcı sıva işçiliği görülmektedir. Yapının duvarlarını oluşturan tuğlaların boyutları yaklaşık 35-36 cm x 5-6 cm'dir [1]. Sarnıçtaki mevcut su seviyesi yaklaşık 45 cm yüksekliğindedir. Beden duvarlarının üst kotlarında havalandırma amacıyla eşit mesafelerle konumlandırılmış 16 adet pencere boşluğu bulunmaktadır. Günümüzde, sarnıca gelen ziyaretçilerin mekânı deneyimleyebilmesi için oluşturulmuş ve zemin seviyesinden yaklaşık 120 cm yükseltilmiş masif ahşap yürüme platformu bulunmaktadır. Sarnıcın günümüzdeki (2024 yılı) haline ait iç mekân fotoğrafı **Şekil 2**'de sunulmaktadır.



**Şekil 2:** Şerefiye Sarnıcı röleve çizimleri (sol) ve iç mekân fotoğrafı (sağ)

Sarnıçta günümüzde aktif olarak özellikle müzik işlevine yönelik etkinlikler düzenlendiği için, asıl inşa amacı su depolamak olan bu miras yapısının mevcut akustik özelliklerinin belirlenmesi önemlidir. Şerefiye Sarnıcı'nın mevcut akustik durumu boş koşullarda yerinde ölçüm yöntemiyle belirlenmiş olup elde edilen değerler, bu bildiri kapsamında ilerleyen bölümlerde müzik işlevine yönelik olarak değerlendirilmiştir.

## 2. ÖLÇÜMLER

### 2.1. Malzeme ve Yöntem

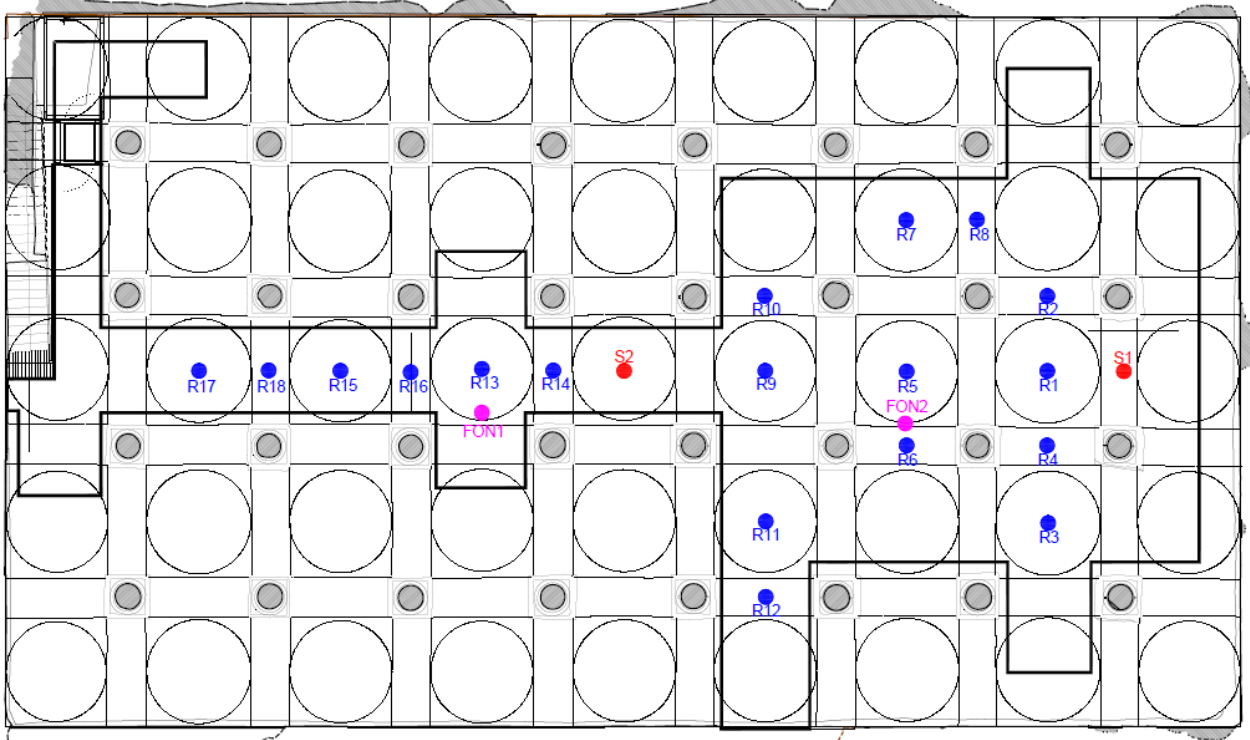
Şerefiye Sarnıcı'nda gerçekleştirilen akustik ölçümler, İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nden alınan izin doğrultusunda ISO 3382-1:2009 standardına [2] uygun olacak şekilde 1 Mart 2024 tarihinde

19.00-22.30 saatleri arasında sarnıcın boş olduğu koşullarda gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde ses kaynağı olarak impulsif ses üretmek amacıyla balonlar kullanılmış olup, balonlar ölçüm sırasında zeminden 1,5 m yükseklikte patlatılmıştır. Ses alıcısı olarak ise iki adet 01 dB marka doğrultusuz mikrofon kullanılmıştır. Alıcı noktalarına yerleştirilen mikrofonlar zeminden 1,20 m yüksekliğe konumlandırılmıştır. Akustik ölçüm düzeneğine ait görsel ve ölçümler sırasında çekilmiş fotoğraflar **Şekil 3**'te sunulmaktadır. Ölçüm sırasında sarnıçtaki nem oranı yaklaşık %80 olarak ölçülmüştür.



**Şekil 3:** Şerefiye Sarnıcı'nın saha ölçümlerinden görüntüler

Sarnıcın ses alanı özelliklerini ölçmek için farklı ses kaynağı ve alıcı konumları için hacim yanıtları alınmıştır. Ölçümlerde dört kanallı sinyal analizörü (01 dB dB4, ACOEM) kullanılmış olup kaydedilen hacim yanıtları "01 dB dB4 Hacim Akustiği" yazılımı ile analiz edilmiştir. Ölçümler iki kaynak noktası için (S1 ve S2) iki mikrofon ile toplamda 18 alıcı noktası için gerçekleştirilmiştir. Hacim içerisindeki arka plan gürültüsü ise iki ayrı konumda (FON1 ve FON2) ölçülmüştür. Sarnıçta gerçekleştirilen müzik amaçlı etkinliklerde sahnenin kurulduğu bölge 1. kaynak konumu (S1) olarak belirlenmiştir. Belirlenen 2. kaynak noktası olan S2 konumu ise hacmin geometrik olarak orta noktasına denk gelmektedir. Alıcı noktaları ise mekânın simetrisi göz önünde bulundurularak dengeli bir şekilde yerleştirilmiştir. **Şekil 4**'te ölçümlerdeki kaynak, alıcı ve fon gürültüsü ölçüm noktalarının konumları plan düzleminde gösterilmektedir.



Şekil 4: Şerefiye Sarnıcı'nın saha ölçümlerinde kullanılan düzenek: ses kaynağı (S), alıcı (R) ve fon gürültüsü (FON) ölçüm noktalarının plan düzleminde konumları

## 2.2. Bulgular ve Tartışma

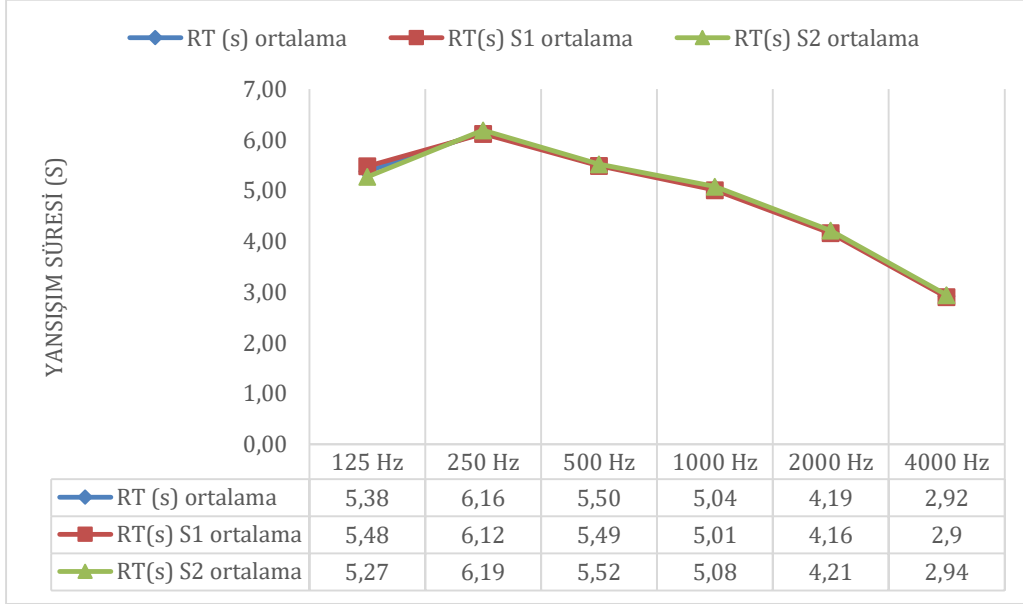
Sarnıcın müzik işlevine yönelik olarak akustik özelliklerinin değerlendirilmesinde yararlanılan referans parametreler; Yansışım Süresi (T30), Erken Düşme Süresi (EDT) ve Netlik (C80)'tir. Bu parametrelere ek olarak, sarnıç içerisinde ölçülen arka plan gürültüsü verileri de değerlendirilmiştir.

### 2.2.1 Yansışım Süresi (RT)

Yansışım süresi, bir mekânın akustik özelliklerini belirlemek için kullanılan başlıca hacim akustiği parametrelerindedir. Yansışım süresi kavramı ilk olarak Wallace Clement Sabine tarafından 19. yy' da ortaya konmuştur. Sabine, yansışım süresini, "ses kaynağı kapatıldıktan sonra ses seviyesinin 60 dB düşmesi için gereken süre" olarak tanımlamıştır [3]. Yansışım süresi, büyük oranda mekânın yansışım karakteristiğiyle ilgilidir ve optimum yansışım süresi, hacmin büyüklüğüne ve mekânda gerçekleştirilecek etkinliğe göre değişkenlik gösterir. Örneğin, derslikler, konferans salonları ve tiyatrolar gibi konuşma amaçlı hacimlerde göreceli olarak daha kısa yansışım süreleri tercih edilirken, müzik amaçlı hacimlerde daha uzun yansışım süreleri tercih edilir [4]. Optimum yansışım süreleri müziğin türüne bağlı olarak da değişir; klasik müzik gibi uzun tempolu müzik türleri daha uzun yansışım süreleri gerektirirken oda müziği gibi daha hızlı tempolar görece daha kısa yansışım süreleri gerektirir. Yansışım süresini doğrudan etkileyen değişkenler hacmin büyüklüğü ve toplam yutuculuktur.

Şerefiye Sarnıcı'nda gerçekleştirilen akustik ölçümlerde, S1 ve S2 kaynak konumları için 16 farklı alıcı noktasında elde edilen ölçümlerin ortalama değerleri ve kaynak ayırımı yapılmaksızın sarnıçta

gerçekleştirilen bütün ölçüm sonuçlarından elde edilen ortalama yansıma sürelerinin frekansa göre dağılımları **Şekil 5**'teki grafikte sunulmaktadır. Elde edilen verilerden hareketle, kaynağın konumu değişse bile sarnıçtaki ortalama yansıma sürelerinin çok büyük farklılıklar göstermediği görülmektedir.



**Şekil 5:** Frekansa göre ölçülen ortalama RT değerleri

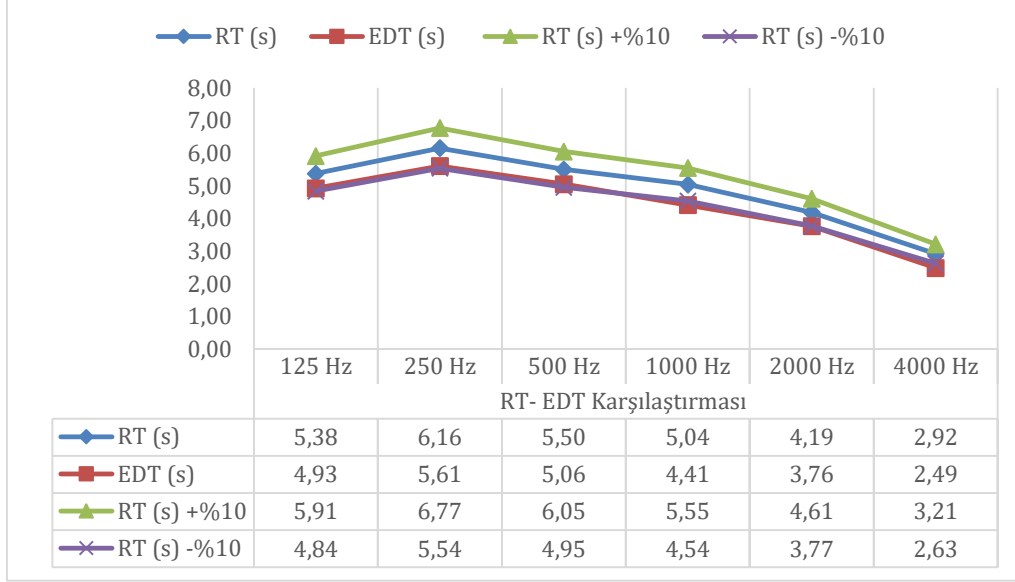
Egan [3], klasik müzik etkinliği için orta frekanslardaki (500-1000 Hz ortalaması) optimum yansıma süresi aralığını 1,6 s- 2,4 s olarak belirtmiştir. Şerefiye Sarnıcı için yapılan ölçümlerden elde edilen sonuçlara göre sarnıçtaki 500-1000 Hz için yansıma süresi ortalaması 5,3 s'dir. Elde edilen bu değer, literatürde orta frekanslar için önerilen değerden oldukça yüksektir. Ölçüm sonuçlarından elde edilen verilere göre, yüksek frekanslardaki (2000 Hz ve 4000 Hz) yansıma süreleri, düşük ve orta frekanslara göre daha düşüktür. Bu durum, sarnıç içerisindeki hava hacminin oldukça fazla olmasından ve yüksek frekanslarda havanın yutuculuğunun daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

Düşük frekanslar için elde edilen yansıma süreleri de orta frekanslardan daha yüksektir. Müzik için; düşük frekanslardaki (125 Hz ve 250 Hz) yansıma sürelerinin orta frekanstaki yansıma süresi değerlerinden daha uzun olması, bas seslerin elektro-akustik sistem ile güçlendirilmediği mekanlar için tercih edilen bir durumdur [4]. Ancak, 250 Hz' de 6 s'ye çıkan yansıma süresi kabul edilebilir optimum değer olarak değerlendirilir.

### 2.2.2 Erken Düşme Süresi (EDT)

Yansıma Süresi (RT) ve Erken Düşme Süresi (EDT) parametrelerinin her ikisi de ses kaynağının enerjisinin bir mekân içerisindeki sönümlenmesi için gereken süreyi belirtirken, Erken Düşme Süresi (EDT), bir ses kaynağı kapatıldıktan sonra mekân içerisindeki ses enerjisinin 10 dB azalması için gereken sürenin 60 dB'lik düşüşe ekstrapole edilmesi ile bulunur. EDT değeri, büyük oranda erken yansımalar ile ilgilidir bu sebeple EDT' nin yansıma süresinin subjektif olarak değerlendirilmesinde etkili bir belirleyici olduğu kabul edilmektedir [5]. İdeal bir salon akustiği

için, Erken Düşme Süresi (EDT) Yansıma Süresi (RT)' nin  $\pm 10\%$  luk aralığında olmalıdır [6]. Bu durum, hacim içerisinde düzgün yayılmış ses enerjisinin varlığını gösterir. Alıcı noktaları için frekansa göre ölçülen ortalama EDT değerleri Şekil 6'daki grafikte sunulmaktadır. Aynı grafikte sarnıç için ölçülen RT değerleri ve EDT için kabul edilebilir aralık olan RT  $\pm 10\%$  aralığı işaretlenmiştir.



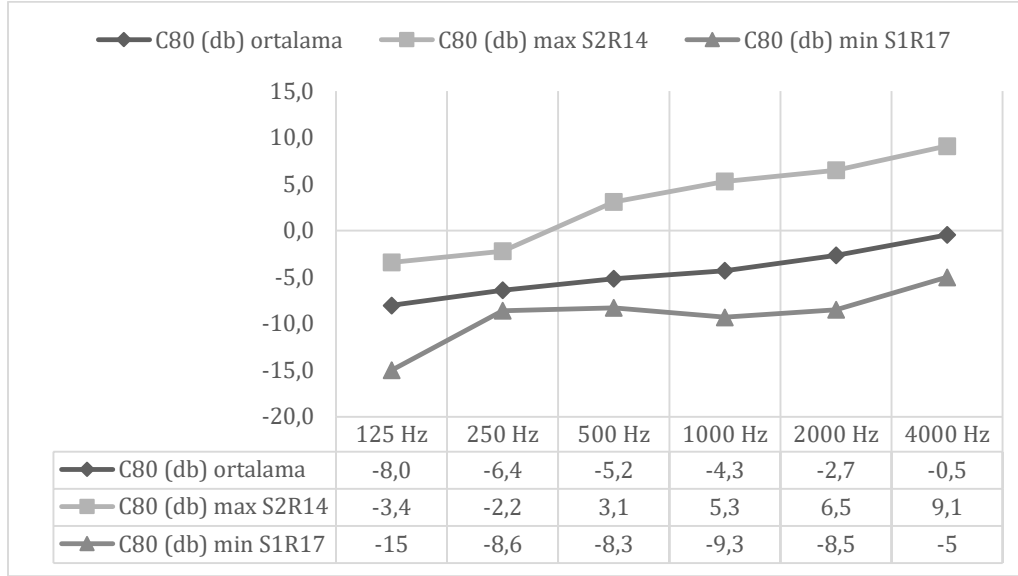
Şekil 6: Frekansa göre ölçülen ortalama RT, EDT ve EDT kabul edilebilir aralık değerleri

Şekil 6'daki grafikten anlaşıldığı üzere, EDT bütün frekanslarda RT' den daha düşük ölçülmüştür. EDT için ölçülen değerlerin, EDT için kabul edilebilir alt sınır değer olan RT-% 10 değerlerine çok yakın olduğu söylenebilir. Bu durum büyük bir hacme sahip olan sarnıçta alıcı konumlarına uzaktaki yansıtıcı yüzeylerden gelen gecikmiş ses enerjisi yoğunluğu ile açıklanabilir.

### 2.2.3 Netlik (C80)

Netlik (C80), bir alıcıya gelen ilk 80 milisaniyedeki ses enerjisinin, 80 milisaniyeden sonra gelen ses enerjisine oranının logaritmasıdır ve desibel birimiyle verilir. Yüksek netlik değeri, ilk yansımalar ile dinleyiciye ulaşan enerjinin daha fazla olduğunu gösterir. Öznel olarak ise netlik, müziğin her ayrıntısının algılanma derecesini tanımlar. Beranek, müzik işlevine sahip mekanlar için C80 değerinin 500 Hz ve 1000 Hz ortalamasının  $-4$  dB ile  $+4$  dB arasında olması gerektiğini belirtmiştir [7]. Alan ölçümü sonuçlarına göre, 2 farklı kaynak konumu için 16 farklı konumda tespit edilen toplamda 32 ölçümün netlik (C80) parametresi değerleri kaynak- alıcı mesafesine bağlı olarak değişmekle beraber, bütün alıcı noktaları için frekansa göre elde edilen minimum, maksimum ve ortalama değerler Şekil 7'deki grafikte sunulmaktadır. Ortalama değerlere göre hesaplanan C80 değeri 500 Hz ve 1000 Hz ortalaması için  $-4,7$  dB' dir. Elde edilen bu değer, sarnıçın müzik amaçlı etkinliklerde kullanımı için 500-1000 Hz ortalamasının kabul edilebilir C80 aralığını ( $-4$ ,  $+4$  dB) aşmaktadır. Sarnıç içerisinde C80 parametresi en düşük değerini S1-R17 ölçümünde almaktadır, bu ölçümde kaynak-alıcı mesafesi maksimum değerini almaktadır. C80 parametresinin en yüksek düzeyde kaydedildiği S2-R14 ölçümünde ise kaynak- alıcı mesafesi minimumdur. Bu sonuçlardan hareketle, kaynak alıcı mesafesi arttıkça sarnıçta netlik parametresi değerinin azaldığı söylenebilir.





Şekil 7: Frekansa göre alıcı noktaları için ölçülen minimum, maksimum ve ortalama C80 grafiği

## 2.2.4 Arka Plan Gürültüsü

Bir mekân içerisindeki konuşmanın anlaşılabilirliği o mekândaki arka plan gürültüsü ile doğrudan ilişkilidir. Yüksek arka plan gürültüsü, konuşmanın anlaşılabilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Binaların Gürültüye Karşı Korunması Yönetmeliği [8] gereğince mekân içi gürültü sınır değerlerinde, mevcut binalarda kullanım amacının değişmesi ya da esaslı tadilat bulunması durumunda, tadilatın etkilediği bağımsız birimlerde en az D akustik performans sınıfının sağlanması gerekmektedir. Bu doğrultuda, yönetmelikte konser salonlarında sürekli gürültüye sahip servis ekipmanlarına bağlı izin verilen en yüksek iç gürültü düzeyi D sınıfı için 34 dBA' dır. Bu değer, gürültü ölçütü olarak NC23 eğrisini karşılamaktadır.

Şerefiye Sarnıcı'nda her gün belirli periyotlarla 360 derece video haritalama gösterimleri yapılmaktadır. Video haritalama gösterimlerinin yapılabilmesi için sarnıç içerisine konumlandırılmış projeksiyon cihazlarını nemden korumak amacıyla nem kurutma cihazları sarnıçta sürekli olarak çalışmaktadır. Bu cihazlar sarnıç içerisinde sürekli bir arka plan gürültüsüne neden olmaktadır. İlgili cihazların sarnıç içindeki arka plan gürültüsüne olan etkisini değerlendirebilmek amacıyla, akustik ölçümler sırasında cihazlar çalışır durumdayken arka plan gürültü düzeyleri (LAeq) iki farklı konumda kaydedilmiştir (bkz. Şekil 4). İki farklı konum için elde edilen değerlerin ortalaması, kabul edilebilir gürültü eğrisi NC23 değerleri ve sarnıçta ölçülen değerlerle arasındaki farklar Çizelge 1'de sunulmaktadır.

Çizelge 1: Saha ölçümlerinden elde edilen arka plan gürültüsü (LAeq) verileri, NC23 eğrisi değerleri ve frekans bazlı ayırım değerleri

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Ölçüm sonuçları (ortalama) [dBA]	47,1	49	49,9	46,7	43,4	38,1	26,7
NC23 eğrisi [dBA]	42	35	29	25	22	20	19
Ayrımlar	5,1	14	20,9	21,7	21,4	18,1	7,7

Saha ölçümlerinde arka plan gürültüsü A ağırlıklı ortalaması 54,8 dBA olarak ölçülmüştür. Bu değer üst sınır olarak yönetmelikte önerilen değer olan 34 dBA' nın oldukça üzerindedir. Aynı zamanda sarnıçta ölçülen arka plan gürültüsü değerleri, frekans bazlı olarak kabul edilebilir gürültü ölçütü değerleriyle (NC23) karşılaştırıldığında, sarnıçta ölçülen arka plan gürültüsü değerlerinin bütün frekanslar için kabul edilebilir gürültü ölçütü değerlerini aştığı görülmektedir. Elde edilen bu veriler, sarnıcın konser işlevi için uygun iç mekân gürültü düzeyinin kabul edilebilir sınırlar içinde olmadığını göstermektedir.

### 3. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada, işlev değişikliğine uğrayan tarihi bir miras yapısı olan Şerefiye Sarnıcı'nda gerçekleştirilen akustik ölçüm sonuçları paylaşılmıştır. Sarnıcın ziyarete kapalı olduğu saatlerde gerçekleştirilen akustik ölçümler sonucunda elde edilen veriler, orta frekanslarda elde edilen ortalama 5,3 saniyelik yansıma sürelerinin bu mekânda gerçekleştirilen klasik müzik konserleri için uygun olmadığını göstermiştir. Özellikle düşük ve orta frekanslar için ölçülen yüksek yansıma süreleri; sarnıcın akustik etkileşimli hacminin büyük olmasının yanı sıra duvar, döşeme ve tavanı oluşturan yapı elemanlarının bitiş malzemelerinin büyük oranda akustik açıdan yansıtıcı oluşuyla ilgilidir. Sarnıç içerisindeki hava hacminin fazla olması nedeniyle yüksek frekanslarda elde edilen yansıma süreleri ise orta ve düşük frekanslara göre daha düşüktür. Elde edilen bu veriler, sarnıcın akustik koşullarını kabul edilebilir koşullar içerisinde iyileştirmeye yönelik bir akustik tasarım önerisi geliştirilmesinin gerekli olduğunu göstermiştir. Akustik tasarım önerisi geliştirilirken yapının tarihi ve mimari değeri göz önünde bulundurulmalı, yapıya getirilecek fiziksel müdahaleler en az seviyede tutulmalıdır. Geliştirilecek akustik tasarım önerileri, yapının özgün mimari ve malzeme özelliklerine saygılı olmalıdır. Çalışmanın ilerleyen aşamalarında, yerinde akustik ölçüm sonuçları kullanılarak bilgisayar ortamında sarnıca ait üç boyutlu hacim akustiği kalibrasyon modelinin oluşturulması planlanmaktadır. Oluşturulan bu kalibrasyon modelinin, sarnıç için müzik işlevine yönelik geliştirilecek önerilerin etüt edilmesinde kullanılması hedeflenmektedir.

### KAYNAKLAR

1. P. Forchheimer, J. Strzygowski, “*Die Byzantinischen Wasserbehälter von Konstantinopel,*” Wien, (1893).
2. ISO 3382-1, *International Standard ISO 3382-1: Acoustics- Measurements of room acoustic parameters- Part I: Performance spaces,* (2009).
3. M. D. Egan, “*Architectural Acoustics,*” J. Ross Publishing, (2007).
4. M. Long, “*Architectural Acoustics,*” Elsevier Academic Press, (2006).
5. M. Barron, “*Auditorium Acoustics and Architectural Design,*” Routledge, (2009).
6. E. Odabaş, Z. Sü Gül, M. Çalışkan. “Doğramacızade Ali Paşa Camii'nin akustik ölçümlerle değerlendirilmesi,” 9. *Ulusal Akustik Kongresi,* (2011).
7. L.L. Beranek, “*Acoustical Measurements Revised ed.*”, Acoustical Society of America, USA, (1988).
8. Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik, T.C. Resmî Gazete, 30082, 31 Mayıs 2017.

# YERLEŞMELERDE GÜNEŞ IŞINIMINDAN OPTİMUM YARARLANILMASINA YÖNELİK BİR ALGORİTMA ÖNERİSİ

Orçun Fındık<sup>1</sup>

Gül Koçlar Oral<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Çanakkale

<sup>2</sup> İTÜ Mimarlık Fakültesi, Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

## ÖZET

*Artan enerji tüketimi ve bunun sonucunda ortaya çıkan CO<sub>2</sub> emisyonları, geri dönüşü olmayan çevresel hasarlara yol açmakta olup özellikle enerji kullanımının önemli bir kısmından sorumlu olan konut binalarında ön tasarım aşamasında enerji verimliliği tedbirlerinin uygulanmasının önemini göstermektedir. Ülkemizde enerji tüketimi, konut binalarının ısıtılmasında öne çıkmaktadır. Enerji tüketimi üzerinde güneş ışınımı kazanımlarının etkisi büyüktür. Bina yönü, biçimi, yüksekliği binalara arası mesafeler parametreler aracılığıyla güneş ışınımından yarar sağlayarak enerji verimliliğinde iyileştirmeler mümkündür. Geleneksel tasarım yöntemlerinden farklı olarak, hesaplamalı tasarım yöntemleri ve parametrik tasarım araçları, çoklu tasarım alternatiflerini eş zamanlı değerlendirerek olası insan hatalarının önüne geçmekte olup, tüm senaryoları ele alarak daha güvenilir bir yaklaşım sunmaktadır. Bu bağlamda bu çalışmada, güneş ışınımı kazancını optimize etmek için bir algoritma geliştirilerek ön tasarım aşamasında parametrik tasarım ve evrimsel optimizasyon araçlarının enerji verimliliği bağlamında sağlayacağı katkının araştırılması amaçlanmıştır. Algoritma, kapladığı alanın sabit tutulduğu dikdörtgen planlı yapılara sahip sıralı blok yerleşim sistemine odaklanan, önceden tanımlanmış bir yerleşim tasarımı örneği kullanılarak İstanbul iklim koşullarında test edilmiştir. Sonuçlar, geliştirilen algoritma aracılığıyla yapılan optimizasyon ve hesaplamaların, konut bina yerleşimlerinin ön tasarım aşamasında enerji verimliliği önlemlerinin belirlenmesinde uygulanabilirliğini göstermektedir.*

*Anahtar sözcükler: Parametrik tasarım, Güneş Işınımı, Evrimsel Optimizasyon*

## ABSTRACT

*Increasing energy consumption and the resulting CO<sub>2</sub> emissions cause irreversible environmental damage and show the importance of implementing energy efficiency measures at the preliminary design stage, especially in residential buildings, which are responsible for a significant part of energy use. In our country, heating plays an important role in terms of the energy consumption. Solar radiation gains have a great impact on energy consumption. Improvements in energy efficiency are possible by regulating solar radiation gains by organizing parameters such as direction, shape, height and distances between structures. Computational design methods offer a more reliable approach by considering all scenarios. In this context, this study aims to investigate the contribution of parametric design and evolutionary optimization tools in the context of energy efficiency at the pre-design stage by developing an algorithm to optimize solar radiation. The developed algorithm was tested in Istanbul climatic conditions. The results show the feasibility of optimization and calculations made by the developed algorithm in determining energy efficiency measures at the preliminary design stage of residential building layouts.*

*Key words: Parametric design, Solar Radiation, Evolutionary Optimization*

<sup>1</sup> e-posta adresi: orcunfindik@comu.edu.tr

<sup>2</sup> e-posta adresi: kgul@itu.edu.tr

## 1.GİRİŞ

Kentsel yerleşmelerde enerji verimliliği günümüzde önemli bir konu haline gelmiştir. Özellikle, güneş ışınımından optimum yarar sağlama, hem enerji tüketimini azaltma hem de çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasını olanaklı kılar. Diğer bir deyişle, ülkemizde enerji harcamalarında önemli bir payı olan konut yapılarında özellikle ısıtma harcamalarının azaltılmasında güneş ışınımından yararlanmanın önemli olduğu bilinmektedir. Yerleşmelerde güneş ışınımı kazancını etkileyen tasarım parametreleri için uygun değerlerin belirlenmesi kapsamında yeni yaklaşımların ve araçların geliştirilmesine yönelik gereksinim artmıştır. Bu açıdan, hesaplamalı tasarım metodları kanıta dayalı tasarım yaklaşımları sunmaktadır. Bu bağlamda sunulan çalışmanın ana amacı, yerleşim bölgelerinde güneş ışınımı kullanımını optimize etmek için bir algoritma geliştirmektir. Bu algoritma, bir dizi parametreyi, özellikle yapı sayısı, kişi sayısı, toplam yaşam alanı, arazi yön ve eğimi, yapı ve arazinin ölçüleri gibi değişkenleri ele alarak, enerji tüketimini azaltmayı ve aynı zamanda iç ve dış ortam konfor koşullarını artırmayı hedeflemekte ve enerji verimliliğini artırmaya yönelik optimizasyon süreçlerini birleştirmektedir. Bulunan çözümler, yerleşim parametrelerinin enerji verimliliği bağlamındaki etkisi açısından güneş ışınımından optimum fayda sağlama konusunda bilgi verici nitelik taşımaktadır.

Çalışmada güneş ışınımı kazancını optimize eden yerleşme dokusunun belirlenmesine yönelik bir algoritma geliştirilmesi hedeflenmiştir. Yaklaşım evrimsel optimizasyon kullanılarak eniyileme yapılmasına dayanmaktadır. Bu amaçla ilk etapta geliştirilen farklı yerleşme alternatiflerinde yer alan yapılar için güneş ışınımı değerleri hesaplanmış ve evrimsel optimizasyon kullanılarak eniyileme işlemi gerçekleştirilmiştir.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Son dönemlerde enerji etkin bina ve yerleşme tasarımı alanında enerji performansının analiz edilebilmesi amacıyla yapılan çalışmalar giderek artmaktadır. Çalışmalarda yerleşme dokusu, binanın güneş ışınımı kazancı açısından bina enerji tüketimini etkileyen önemli bir etken olarak görülmektedir. Bu kapsamda binaların güneş ışınımı kazancı ile yerleşme dokularının etkileşimi, yerleşme ve bina tasarımını etkileyen parametre değerleri ile ele alınmaktadır.

Yerleşme dokusunu belirleyen ve “kent kanyonu” olarak adlandırılan bina yüksekliği (H) ve sokak genişliği (W) arasındaki ilişkiyi ortaya koyan Oke, kent kanyonlarının derinliklerine (H/W) ve yönlendirilmelerine bağlı olarak binaların güneş ışınımı kazancını etkilediğini ortaya koymuştur [1]. Ahmet vd, H/W oranının 1,00’e eşit olması durumunda üniform, 0,50’den küçük olması durumunda sığ ve 2,00’ye eşit olması durumunda derin olarak nitelendirmişlerdir [2]. Ali-Toudert dar sokaklardan oluşan derin kent kanyonlarındaki binaların güneş ışınımı kazancının azalmasına bağlı olarak soğutma yüklerinin önemli oranda düştüğünü tespit etmiştir [3]. Ratti ve arkadaşları çalışmalarında, ılıman iklim bölgelerinde uygun olarak tasarlanmış yerleşme dokuları sayesinde optimum düzeyde güneş ışınımı kazancı sağlayan binalarla toplam enerji harcamalarında %10 oranında tasarruf sağlamışlardır [4]. Sıcak iklim bölgelerinde Omar ve diğerleri, farklı yerleşmeleri ele alarak, sıra blokların %28 oranında daha az enerji harcadıklarını tespit etmişlerdir [5]. Soğuk iklim için yapılan çalışmalarda Kanters ve Horvat (2021) komşu binaların konumlarının yerleşme tipine bağlı olarak binaların güneş enerjisinden kazanç sağlama potansiyellerini %75 oranına artırabileceğini belirtmişlerdir [6]. Güneş ışınımının, yerleşmelerin güneş enerjisi potansiyelini değerlendirirken ve enerji kullanımını optimize ederken dikkate alınması gereken önemli bir faktör

olduğundan yola çıkararak, en boy oranı, binalar arasındaki mesafe, bina genişliği ve yüzey/hacim oranı gibi değişkenlerin binaların güneş enerjisi kazanım potansiyelini ve enerji tüketimini doğrudan etkilediği ortaya konulmuştur [7].

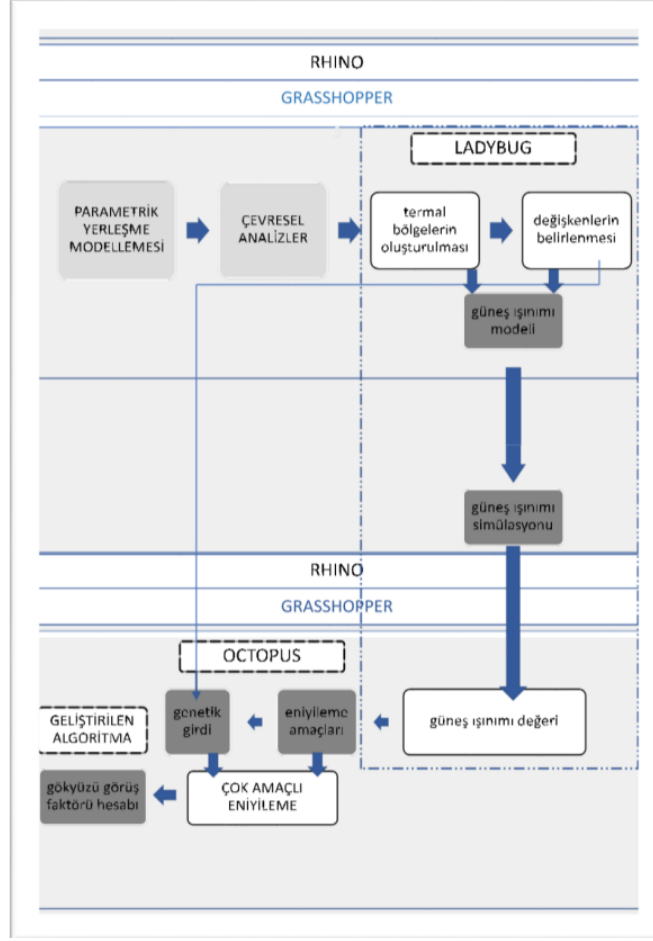
Güneş ışınımını anlamak ve analiz etmek, bir yerleşim alanının güneş enerjisi potansiyelinin belirlenmesine ve enerji kullanımının optimize edilmesine yardımcı olabilir. Ayrıca güneş ışınımı, güneş panelleri gibi yenilenebilir enerji sistemleri için güneş enerjisinin kullanılabilirliğinin belirlenmesinde çok önemli bir rol oynamaktadır [8]. İstanbul örneğinde yapılan bir çalışmada üniform yerleşme ve üç farklı opak kabuk katmanlaşmasıyla yapılan analizler sonucunda, bina kabuğu katmanlaşmasının %51,7'ye, yerleşme dokusu tasarımının ise %44,7'ye kadar bina enerji tüketiminde azalma sağlayabileceğini tespit edilmiştir [9]. Sürdürülebilir enerji ve maliyet etkin yerleşme tasarımı kapsamında İstanbul için yapılan çalışmada 120 yerleşme dokusu alternatifi içerisinde tanımlı referans konut binası için ayrı ayrı gerçekleştirilen enerji ve maliyet analiz sonuçları değerlendirildiğinde; en düşük ısıtma amaçlı enerji tüketiminin (kWh/modül/yıl) gerçekleştiği yerleşme dokusu alternatifi olarak; kare tabanlı, nokta bloklar ile oluşturulmuş, 15 katlı (bina yüksekliği: 45 m), H/W oranı 1.00 ve referans sokak yönlenmesinin güney-kuzey (yön3, 90°) doğrultusunda olduğu alternatif, en düşük soğutma amaçlı enerji tüketiminin (kWh/modül/yıl) gerçekleştiği yerleşme dokusu alternatifi olarak; dikdörtgen tabanlı, sıra bloklar ile oluşturulmuş, 5 katlı (bina yüksekliği: 15 m), H/W oranı 2.00 ve referans sokak yönlenmesinin doğu-batı (yön1, 0°) doğrultusunda olduğu alternatif belirlenmiştir [9]. Enerji etkin yerleşme dokusu ve bina tasarımına yönelik geliştirilen parametrik bir model önerisinin sunulduğu bir çalışmada, tasarım parametrelerinin bina enerji tüketimi üzerindeki etki düzeylerini değerlendirmek için performans odaklı bir simülasyon yöntemi kullanılarak tasarım aşamasına yönelik uygun çözümlerin üretilmesi hedeflenmiştir [10].

### 3. METODOLOJİ

Bina yerleşmelerinde güneş ışınımını ölçmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu metodolojiler genellikle kentsel bağlamı analiz etmek ve bina yüksekliği-mesafe oranı ve sokak türü gibi değişkenleri değerlendirmek için 3 boyutlu modelleme tekniklerinin kullanılmasını içerir. Araştırmacılar bu değişkenleri modelleme yaklaşımlarına dahil ederek belirli kentsel alanlardaki güneş ışınımını doğru bir şekilde ölçebilmektedirler.

Bu çalışma kapsamında enerji tüketimlerini azaltmak için ısıtma döneminde güneş ışınımı kazançlarının maksimize edilmesinin, soğutma döneminde minimize edilmesinin gerektiği ılımlı nemli iklim bölgesinin pilot şehri olduğu düşünülen İstanbul kentinde varsayımsal olarak yer aldığı düşünülen 3000 kişilik, 40000 m<sup>2</sup> bir yerleşim alanı seçilmiştir.

Bina modelleri için, yerleşim yerinin belirli özelliklerine (bina sayısı, kişi sayısı, toplam yaşam alanı, arazi yön ve eğimi, taban alanı ve arazinin ölçüleri) dayanan parametrik bir model geliştirilmiştir. Model, çoklu senaryoların üretilebilmesi için Grasshopper yazılımı arayüzünde oluşturulmuştur. İklim verileri, özellikle güneş ışınımı değerleri, Ladybug eklentisi kullanılarak elde edilmiştir. Diğer ilgili parametreler (yerleşim yerinin yönü, eğimi ve arazinin topografyası vb), Grasshopperda hazırlanmış olan parametrik modelde belirlenip simülasyonlar için giriş olarak kullanılmıştır. Evrimsel optimizasyon aşaması ile elde edilen simülasyon sonuçlarına bağlı olarak yerleşim senaryoları arasında eniyilemeye gidilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1: Geliştirilen algoritmanın bir yerleşme tasarımı örneğinde kullanılması

Bu parametrik model, çeşitli değişkenlere dayanarak farklı yerleşim senaryolarını oluşturmaktadır. Özellikle yerleşim birimindeki bina sayısı, toplam yaşam alanı, arazi yönü ve eğimi gibi parametreler bu modelde belirlenebilir. Bunlar, modelin çıktısını etkileyen anahtar faktörlerdir. Model, belirlenen parametrelerin değişikliklerine bağlı olarak farklı yerleşim senaryolarının güneş ışıması kazancı açısından simülasyonu ile uygun yerleşme senaryosunun belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Daha açık bir ifade ile geliştirilen parametrik model, tasarım parametrelerinin değiştirilmesine, farklı yerleşim senaryolarının oluşturulmasına ve yerleşmelerin güneş ışıması kazançlarını belirleyerek enerji tüketimlerinin azaltılmasına olanak sağlamaktadır. Algoritmada kullanılan yazılım ve eklentiler aşağıda açıklanmıştır.

**Rhino (Rhinoceros):** NURBS tabanlı bir 3D modelleme yazılımıdır. Mimarlar, endüstriyel tasarımcılar ve mühendisler tarafından karmaşık şekilleri modellemek ve tasarlamak için kullanılır. Rhino, geniş bir eklenti ekosistemine sahiptir ve kullanıcıların ihtiyaçlarına göre özelleştirilebilir.

**Grasshopper:** Rhino için bir görsel programlama eklentisidir. Kullanıcıların parametrik tasarımlar oluşturmasına olanak tanır.

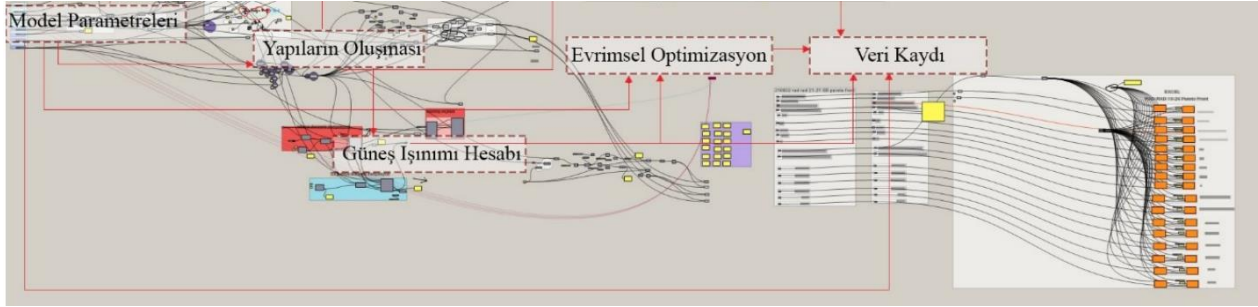
**Ladybug:** Enerji ve çevresel analiz için Grasshopper için geliştirilmiş bir eklentidir. Ladybug, bina performansını analiz etmek ve sürdürülebilir tasarım kararları almak için kullanılır. Ladybug, güneş ışınımı, rüzgar, ve diğer çevresel faktörlerin analizini yapabilir.

**Octopus:** Grasshopper için bir eklentidir ve evrimsel optimizasyon prensibine dayanarak çok hedefli optimizasyonlar için kullanılır.

### 3.1. Parametrik Model ve Güneş Işınımı Analizi

Öncelikle, yerleşme senaryolarını belirlemek için Grasshopper'da, alan eğim açısı, alanın yönü, yerleşmedeki bina sayısı, taban alanı, kişi başına düşen alan ( $m^2$ ), yerleşmedeki kişi sayısı ve alanın boyutları parametreleri ile oluşturulmuş olan parametrik modele Ladybug entegre edilmiştir. Bu entegrasyon ile, modelde belirlenen parametrelerin değiştirilmesi durumunda, Ladybug, değişen parametreler ile yeniden oluşmuş yerleşme senaryoları üzerinden güneş ışınımı analizi yaparak her bir yerleşim senaryosunun güneş ışınımından ne ölçüde yararlanabileceği bilgisini vermektedir (**Şekil 2**). Böylece yerleşmelerde en uygun enerji etkinliğini sağlama hedefine yönelik kararlar alınabilmesi olanaklı olabilmektedir.

Algoritma, 40000  $m^2$  alana sahip bir arazide 3000 kişinin bulunduğu, kişi başına düşen alanın 25 $m^2$  olduğu ve bina kat yüksekliklerinin 3 metre olacak şekilde belirlenmiş olan bir yerleşme tasarımı örneğinde uygulanmıştır. Bu parametreler sabit tutulup, arazi eğim açısı, arazinin yönü ve arazideki bina sayısı parametrelerindeki değişimlerin yarattığı kombinasyonlar ile çeşitli yerleşme senaryoları oluşturulmuştur. Yüzeyle düşen toplam güneş ışınım miktarını hesaplamak için Ladybug eklentisi kullanılmış, güneşin yıl boyunca değişen konumu hesaba katılarak farklı yerleşme senaryolarının güneş ışınımından yararlanma potansiyelleri belirlenmiştir.

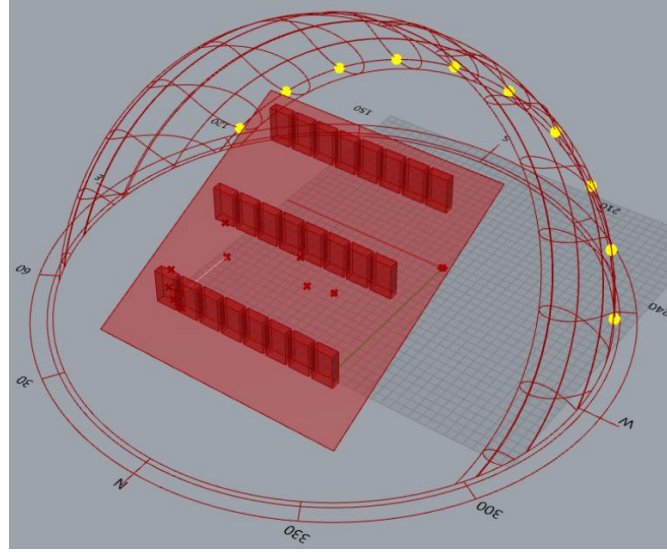


Şekil 2: Geliştirilen Algoritma

### 3.2. Optimizasyon

Bu çalışma kapsamında güneş ışınımı değerleri bağlamında ısıtma dönemi için maksimum, soğutma dönemi için minimum değerleri gerçekleştiren alternatifleri belirlemek için evrimsel optimizasyon ile en iyileme işlemi yapan Octopus eklentisi kullanılmıştır ve belirlenen hedeflerle uyum sağlayan yerleşme senaryolarının belirlenebilmesi için pareto ön çözümleri elde edilmiştir. Yerleşme senaryoları, arazi eğim açısı, arazinin yönü ve yerleşmedeki bina sayısı parametrelerine bağlı olarak oluşturulmuş, yapı modeli kişi sayısı ve kişi başına düşen alan ( $m^2$ ) değerleri sabit bırakılmış olup, bina yükseklikleri (h) yerleşme senaryolarına bağlı olarak algoritma ile belirlenmektedir. Böylece, eniyileme aşamasında, arazi eğim açısı, alanın yönü, yerleşmedeki

bina sayısı girdilerine bağı olarak her yerleşme senaryosu için farklı bina yüksekliği (h), ısıtma dönemi toplam güneş ışıını değeri ve soğutma dönemi toplam güneş ışıını değeri çıktı olarak alınmaktadır. Çalışma kapsamında yerleşme türü olarak Dikdörtgen Plan Sıralı Blok Yerleşme ele alınmıştır.(Şekil 3). Dikdörtgen plan sıralı blok yerleşme türüne ait ısıtma dönemi ve soğutma dönemi için güneş ışıını değeri nesiller boyu ele alınmıştır (Çizelge 1).



Şekil:3 Dikdörtgen Plan Sıralı Blok Yerleşme

Çizelge 1: Isıtma dönemi ve soğutma dönemi için güneş ışıını değeri

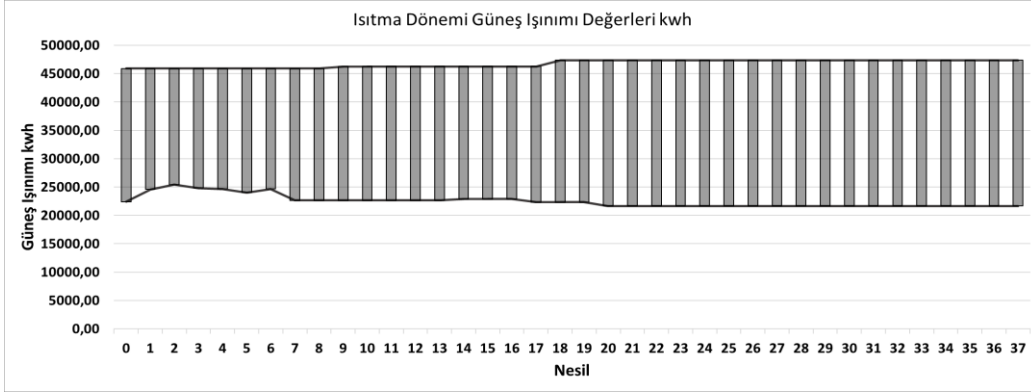
Nesil	Isıtma dönemi toplam güneş ışıını değeri aralığı/ kwh	Soğutma dönemi toplam güneş ışıını değeri aralığı / kwh
0	22427,41 - 45914,76	126558,06 - 288658,62
1	24601,97 - 45914,76	126558,06 - 288658,62
2	25423,27 - 45914,76	126558,06 - 288010,80
3	24827,14 - 45914,76	126558,06 - 288010,80
4	24684,26 - 45914,76	118752,52 - 288010,80
5	24046,39 - 45914,76	118752,52 - 288010,80
6	24684,26 - 45914,76	118752,52 - 288010,80
7	22644,01 - 45914,76	116768,20 - 288010,80
8	22644,01 - 45914,76	116768,20 - 288010,80
9	22644,01 - 46262,74	116768,20 - 288428,16
10	22644,01 - 46262,74	116768,20 - 288428,16
11	22644,01 - 46262,74	116768,20 - 288428,16
12	22644,01 - 46262,74	116768,20 - 288428,16
13	22644,01 - 46262,74	112602,68 - 288428,16
14	22887,58 - 46262,74	112076,49 - 288428,16
15	22887,58 - 46262,74	112076,49 - 288428,16
16	22887,58 - 46262,74	112076,49 - 288428,16
17	22344,21 - 46262,74	110609,28 - 288428,16
18	22344,21 - 47366,35	110609,28 - 292957,46
19	22344,21 - 47366,35	110609,28 - 292957,46
20	21656,95 - 47366,35	108080,15 - 292957,46
21	21656,95 - 47366,35	108080,15 - 292957,46



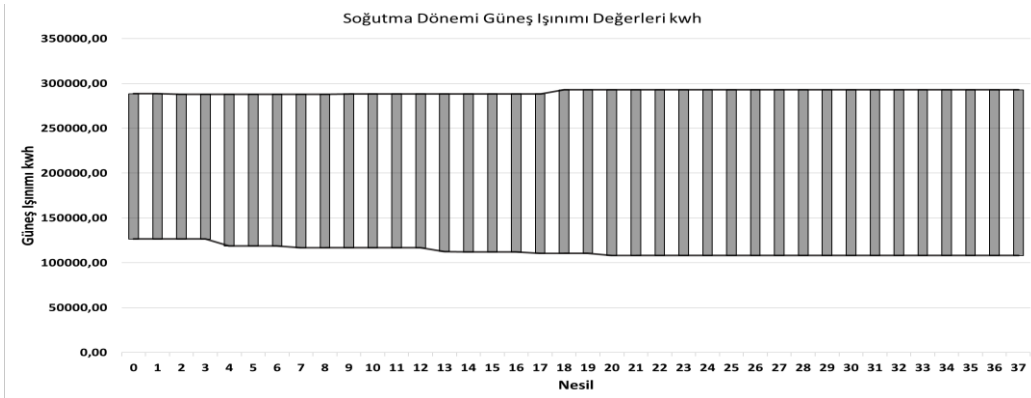
**Çizelge 1 (devamı):** Isıtma dönemi ve soğutma dönemi için güneş ışıınımı değerleri

Nesil	Isıtma dönemi toplam güneş ışıınımı değerleri aralığı/ kwh	Soğutma dönemi toplam güneş ışıınımı değerleri aralığı / kwh
22	21656,95 - 47366,35	108080,15 - 292957,46
23	21656,95 - 47366,35	108080,15 - 292957,46
24	21656,95 - 47366,35	108080,15 - 292957,46
25	21656,95 - 47366,35	108080,15 - 292957,46
26	21656,95 - 47366,35	108080,15 - 292957,46
27	21656,95 - 47366,35	108080,15 - 292957,46
28	21656,95 - 47366,35	108080,15 - 292957,46
29	21656,95 - 47366,35	108080,15 - 292957,46
30	21656,95 - 47366,35	108080,15 - 292957,46
31	21656,95 - 47366,35	108080,15 - 292957,46
32	21656,95 - 47366,35	108080,15 - 292957,46
33	21656,95 - 47366,35	108080,15 - 292957,46
34	21656,95 - 47366,35	108080,15 - 292957,46
35	21656,95 - 47366,35	108080,15 - 292957,46
36	21656,95 - 47366,35	108080,15 - 292957,46
37	21656,95 - 47366,35	108080,15 - 292957,46

Dikdörtgen plan sıralı blok yerleşme türüne ait veriler grafik halinde gösterilmiştir (Şekil 4, 5).



**Şekil 4:** Dikdörtgen plan sıralı blok yerleşme türü için ısıtma dönemine ait güneş ışıınım değerleri



**Şekil 5:** Dikdörtgen plan sıralı blok yerleşme türü için soğutma dönemine ait güneş ışıınım değerleri

Dikdörtgen planlı sıralı yerleşim türü için evrimsel optimizasyon 37 nesil boyunca sürdürülmüş olup, 20. Nesilden itibaren bir iyileşme görülememiştir. Evrimsel optimizasyon süreci kapsamında Isıtma dönemi için maksimum, soğutma dönemi için ise minimum güneş ışınımı elde etme hedeflerine yönelik öne çıkmış olan Pareto Ön çözümleri listelenmiştir. (Çizelge 2)

Çizelge 2: Pareto Ön çözümleri

	alan eğim adsi	alanın yonu	x eksenli yapı sayı	y eksenli yapı sayı	Wx	Wy	H/Wx	H/Wy	H	RAD Isıtma Periyodu	RAD Soğutma Periyodu
senaryo 0	25	0	9	20	0	0,02		304,30	5,20	47366,35	29257,46
senaryo 1	20	0	9	20	0	0,39		13,47	5,20	46714,21	291604,46
senaryo 2	25	0	9	19	0	0,57		9,54	5,47	46473,16	284308,71
senaryo 3	20	0	9	18	0	1,61		3,59	5,78	45655,39	276409,27
senaryo 4	25	0	9	18	0	1,20		4,83	5,78	44865,24	273067,15
senaryo 5	20	0	9	17	0	2,39		2,62	6,12	44534,70	266302,58
senaryo 6	25	0	9	17	0	1,30		3,23	6,12	43674,51	263579,80
senaryo 7	25	180	9	20	0	0,02		304,30	5,20	43406,49	250507,39
senaryo 8	20	0	9	15	0	4,10		1,69	6,93	41962,73	246610,16
senaryo 9	25	0	9	15	0	3,59		1,93	6,93	40975,68	242592,24
senaryo 10	5	0	9	14	0	6,09		1,22	7,43	40834,23	237873,32
senaryo 11	15	0	9	14	0	5,60		1,33	7,43	40178,25	234649,22
senaryo 12	5	0	9	13	0	7,43		1,08	8,00	39702,54	228183,88
senaryo 13	5	180	9	13	0	7,43		1,08	8,00	38903,35	226654,40
senaryo 14	20	0	9	13	0	6,44		1,24	8,00	38763,81	223905,41
senaryo 15	5	0	9	12	0	9,02		0,96	8,67	38158,32	217076,15
senaryo 16	15	0	9	12	0	8,44		1,03	8,67	37439,82	213641,99
senaryo 17	5	0	9	11	0	10,92		0,87	9,45	37013,32	206962,59
senaryo 18	5	180	9	11	0	10,92		0,87	9,45	36273,66	205663,71
senaryo 19	10	0	9	11	0	10,68		0,89	9,45	35828,25	202364,56
senaryo 20	5	0	9	10	0	13,24		0,79	10,40	35422,71	195675,31
senaryo 21	0	0	9	10	0	13,33		0,78	10,40	34563,84	193563,62
senaryo 22	5	0	9	9	0	16,15		0,72	11,55	33661,16	183306,75
senaryo 23	15	0	9	9	0	15,36		0,75	11,55	32537,09	179532,78
senaryo 24	0	180	9	8	0	20,00		0,65	13,00	32254,39	173629,15
senaryo 25	15	0	9	8	0	18,98		0,68	13,00	31113,91	168842,72
senaryo 26	5	0	9	7	0	24,87		0,60	14,85	30500,87	161965,99
senaryo 27	5	180	9	7	0	24,87		0,60	14,85	30106,97	161183,98
senaryo 28	15	0	9	7	0	23,81		0,62	14,85	29457,61	157554,24
senaryo 29	5	0	9	6	0	31,84		0,54	17,33	28888,69	150250,00
senaryo 30	15	0	9	6	0	30,57		0,57	17,33	27944,64	146666,30
senaryo 31	5	0	9	5	0	42,30		0,49	20,80	27572,94	139876,69
senaryo 32	15	0	9	5	0	40,71		0,51	20,80	26462,76	135763,74
senaryo 33	5	0	9	4	0	59,73		0,44	26,00	26062,07	128965,01
senaryo 34	15	0	9	4	0	57,61		0,45	26,00	25113,93	125442,35
senaryo 35	0	0	9	3	0	85,00		0,36	34,66	24684,26	118752,52
senaryo 36	10	0	9	3	0	93,40		0,37	34,66	24130,79	116477,24
senaryo 37	10	180	9	3	0	93,40		0,37	34,66	23634,01	114026,30
senaryo 38	25	0	9	3	0	85,16		0,41	34,66	22887,58	112076,49
senaryo 39	20	180	9	3	0	88,67		0,39	34,66	22344,21	110609,28
senaryo 40	25	180	9	3	0	85,16		0,41	34,66	21656,95	108080,15

Üretilen pareto ön çözüm senaryoları incelendiğinde soğutma döneminde daha iyi performans veren sonuçların elde edilebilmesi, başka bir deyişle soğutma döneminde elde edilmiş güneş ışınımı değerlerinin düşürülmesi için yapı aralıkları daha geniş olan senaryoların üretildiği gözlemlenmektedir. Isıtma döneminde daha iyi performans veren sonuçların elde edilebilmesi, başka bir deyişle ısıtma döneminde elde edilmiş güneş ışınımı değerlerinin artırılması için yapı aralıkları daha dar olan senaryoların üretildiği gözlemlenmektedir.

Bina sayısı azaldıkça, bina aralarındaki mesafeler artmaktadır. Algoritmanın tasarımına bağlı olarak toplam yaşam alanı değerleri sabit tutulmaya çalışıldığı için yapı sayısı azaldıkça yapı yükseklikleri artmaktadır. Eğimli arazinin ortaya çıktığı senaryolarda yapının toprağa gömülü olmayan cephesine ait olan H yapı yükseklikleri tabloda verilmiştir. Yapı yükseklikleri ve yapı aralığı mesafeleri değerlerindeki değişikliklere bağlı olarak H/W oranları değişkenlik göstermektedir.

## 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada ön tasarım aşamasında konut yerleşmelerinin güneş ışınımı bağlamında eniyileme için bir parametrik model oluşturulmuş olup, evrimsel optimizasyon eklentisi entegre edilerek bir algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritmanın yerleşme tasarımı örneğine uygulanması hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda İstanbul'da yer aldığı varsayılan bir yerleşme tasarımı örneğinde farklı senaryolar için güneş ışınımı bağlamında eniyileme yapılmıştır.

Böylece algoritma kullanıcısının bir yerleşme alanında olabilecek farklı yerleşme senaryolarını değerlendirerek tüm alternatiflerin güneş ışınımı değerlerini gözlemlemesi ve optimum çözümlerin olduğu tasarım seçeneklerini elde etmesi dolayısıyla çok sayıda parametre ele alınarak uygun çözümlerin belirlenebilmesine olanak sağlayan bir tasarım yaklaşımı ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Algoritmanın İstanbul'da yer aldığı varsayılan bir yerleşme tasarımı örneği üzerinde uygulanması, algoritmanın potansiyelini ortaya koymuştur ve güneş ışınımının optimum kullanımı için yerleşmelerin nasıl planlanacağı ve tasarlanacağı konusunda önemli çıkarımlar sağlamaktadır.

Isıtma dönemi için güneş ışınımının maksimize edilmeye çalışıldığı alternatiflerde, H/W oranlarında artış, bir başka deyişle bina sayısı ve bina sıklığında artış, bina aralıklarında azalma gözlemlenmiştir. Aynı şekilde bina aralıkları arttığında daha çok güneş ışınımı alması beklenen yerleşimin, soğutma dönemi için yapılan eniyilemede başka bir deyişle güneş ışınımı değerlerinin kazancının azaltılması hedeflenen aşamada H/W oranlarının düştüğü, bina aralıklarının arttığı ve bina sayısının azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, bina kabuğu ve çatı aracılığı ile elde edilen güneş ışınımı bağlamında eniyilemeye giderken ele alınan bina kabuğu ve çatı yüzeylerinin önemini ortaya koymaktadır. Yerleşmedeki bina sayısı arttığında bina kabuğu ve çatı yüzeyleri artmakta ve dolayısıyla toplam güneş ışınımı kazancı değerleri artmaktadır. Isıtma dönemi için en iyi değer elde edilmeye çalışılırken yapı yüksekliklerinin azaldığı, soğutma dönemi için en iyi değer elde edilmeye çalışılırken ise yapı yüksekliklerinin arttığı görülmektedir. Bu durum, kişi sayısı ve kişi başına düşen m<sup>2</sup> parametrelerinin sabit tutulduğu senaryolar için yapı sayısındaki değişim gerçekleşirken tüm senaryolar için sabit tutulan toplam yaşam alanının değişmemesi için otomatik olarak gerçekleşmektedir.

Çalışmada geliştirilen algoritma, mimarların, şehir planlamacılarının ve karar vericilerin kentsel yerleşim tasarımı ve gelişiminde güneşin potansiyelini dikkate almaları için güçlü bir araç olarak hizmet edebilir. Çalışma aynı zamanda algoritmanın daha da geliştirilme potansiyeline sahip olduğunu göstermekte olup, ileride yapılacak rüzgar enerjisi optimizasyonu, enerji yükünün belirlenmesi, enerji maliyet hesaplaması gibi çalışmalarla geliştirilerek, sürdürülebilir yerleşim planlaması için daha kapsamlı çözümler sunabilecektir.

## KAYNAKLAR

1. Oke, T. R. (1988). *Boundary Layer Climates*. Methuen, New York.
2. Ahmed, S. vd. (2005). "Urban Form and Thermal Efficiency: How the Design of Urban Forms Influence the UHI Effect in Hot Humid Kuantan, Malaysia." *ASIABUILD International Conference*, Kuala Lumpur.
3. Ali-Toudert, F. (2009). "Sensitivity Study of the Impact of Street Design on Outdoor Thermal Comfort in Hot and Dry Climate (Dubai)." *Renewable Energy*, 34(3), 683-696.

4. Ratti, C. vd. (2005). "Capitolo 4- Urban Sustainability and Environmental Performance Assesment." In C. Ratti (Ed.), The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences (2nd ed., pp. 155-179). The MIT Press.
5. Omar, N. vd. (2015). "The Effect of Urban Forms on Energy Consumption in Residential Buildings in Tropical Climates." Energy and Buildings, 92, 84-95.
6. Kanters, J. ve Horvat, S. (2021). "Influence of Urban Form on the Solar Potential of Buildings." Energy and Buildings, 243, 110946.
7. Song, J. ve diğeri. (2020). "Urban Form and Solar Energy Potential: A Review." Renewable and Sustainable Energy Reviews, 119, 109601.
8. Shaikh, M. vd. (2020). "A Review of Assessment Methods for Energy and Environmental Impact of Buildings." Energy and Buildings, 220, 110158.
9. Beyaztaş, D. ve Koçlar Oral, G. (2020). "Enerji Tüketimi ve Maliyet Analizlerinin İstanbul için Yerleşme Dokuları Tasarımında Parametrik Model ile Gerçekleştirilmesi: Ayazağa Yerleşkesi Örneği." MEGARON, 15(1), 68-79.
10. Erdemir, E. ve Koçlar Oral, G. (2021). "A Performance-Focused Simulation-Based Approach to Evaluate the Impact of Design Parameters on Building Energy Consumption." Architectural Engineering and Design Management, 1-20.

# **BİNA KABUĞU SEÇENEKLERİNİN ENERJİ HARCAMALARI VE KARBON DEĞERLERİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRMESİ: MARDİN ÖRNEĞİ**

Emine Nur Günaydın<sup>1</sup>  
Gül Koçlar Oral<sup>2</sup>  
İTÜ Mimarlık Fakültesi  
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

## **ÖZET**

*Binalar, uzun ömürlü olmaları, yüksek miktarda enerji tüketerek karbon emisyonlarına neden olmaları nedeniyle günümüz enerji ve çevre sorunları ile ilgili yaklaşımlarda öncelikli ele alınmalıdır. Bu bağlamda, karbon sıfır bina yaklaşımı, giderek daha da önemli olmaktadır. Binaların karbon salımını azaltarak hedeflenen noktaya etkili bir şekilde ulaşması için tasarım aşamasında yaşam döngüsü analizleri yapılarak meydana gelebilecek tüm çevresel etkileri tahmin edilebilir. Yaşam döngüsü analizi kapsamında; gömülü karbon olarak tanımlanan, yapıda kullanılacak malzemelerin üretilmesi, nakliyesi gibi süreçlerde oluşan karbon emisyonu ve operasyonel karbon olarak tanımlanan bina kullanım sürecindeyken ısıtma, aydınlatma, soğutma gibi sistemlerin kullanılmasıyla oluşan karbon emisyonu hesaplanabilir. Bu çalışmada, belirlenen bina tiplerinde Mardin şehri için simülasyon araçları kullanılarak bina kabuğunda geleneksel ve çağdaş malzeme kullanımının, plan tipinde farklılaşmaların ve A/V oranının (toplam ısı kayıp alanı/ binanın ısı kayıplarına karşı korunan hacmi) değişmesi ile oluşan gömülü karbon ve toplam karbon salımı değerleri belirlenmiştir. Oluşturulan farklı bina kabuğu seçenekleri için enerji harcamaları ve karbon değerleri karşılaştırılarak, irdelenmiştir.*

*Anahtar sözcükler: Gömülü karbon, Enerji tüketimi, Bina Kabuğu, One Click LCA, Mardin, Geleneksel malzeme*

## **ABSTRACT**

*Buildings are considered as the priority in today's approaches to energy and environmental problems because they have a long life and cause carbon emissions by consuming high amounts of energy. In this context, the carbon zero building approach is becoming increasingly important. In order to effectively achieve the targeted point by reducing the carbon emissions of buildings, life cycle analyses are conducted during the design phase to predict all potential environmental impacts. Within the scope of life cycle analysis; carbon emissions occurring in processes such as the production and transportation of materials to be used in the building, defined as embedded carbon, and carbon emissions occurring during the use of the building, such as heating, lighting, and cooling systems during the operational phase, can be calculated. In this study, using simulation tools for selected building types in the city of Mardin, the embodied carbon and total carbon emissions resulting from the use of traditional and contemporary materials in the building envelope, differentiation in floor plans, and changes in the A/V ratio (total heat loss area / protected volume against heat losses of the building) were determined. Energy consumptions and carbon values for different building envelope alternativess were compared and examined.*

*Keywords: Embodied carbon, Energy consumption, Building Envelope, One Click LCA, Mardin, Traditional materials*

<sup>1</sup> e-posta adresi: gunaydine17@itu.edu.tr

<sup>2</sup> e-posta adresi: kgul@itu.edu.tr

## 1.GİRİŞ

Yapı sektörü, diğer endüstriler içerisinde enerji ve doğal kaynak tüketimi açısından büyük bir yere sahiptir. Bu tüketimler sonucu oluşan CO<sub>2</sub> salımı, küresel ısınmanın başlıca sebeplerindedir. Yapma çevre bağlamında binaların sera gazı emisyonlarının azaltılması yönünde çalışmalar olmasına rağmen emisyonlar üzerinde hala yüksek bir paya sahip olduğu bilinmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı'na göre bina faaliyetleri, küresel enerji tüketiminin %30'unu ve bu tüketim kaynaklı oluşan emisyonların %26'sını oluşturmaktadır [1]. Yaşam döngüsü analizi ile bir binanın ömrünün sonuna kadar tüm yaşamı boyunca enerji harcaması, karbon salımı elde edilebilir. Yaşam döngüsü analizlerine göre bir binanın inşaat aşaması %12,6, işletim aşaması %85,4, yıkım aşamasında ise %2 oranında toplam CO<sub>2</sub> salım değerine sahiptir [2].

Hammaddenin yapı malzemesi olarak üretimi, yapı malzemelerinin nakliyesi, şantiyelerde montajı, inşaat faaliyetleri, binaların kullanım ömrü boyunca bakım-onarım faaliyetleri, ömrü sonunda binaların yıkımı ve atık bertarafı aşamalarında açığa çıkan emisyonlar "Gömülü Karbon" olarak adlandırılır. Bununla birlikte, binanın kullanıldığı süre boyunca, örneğin ısıtma, soğutma, aydınlatma, sıcak su hazırlama ve cihazların enerji tüketimi nedeniyle oluşan emisyonlar "Operasyonel Karbon" olarak adlandırılır. Bu emisyonlar, binanın günlük işleyişi sırasında gerçekleşen ve kullanım esnasında doğrudan açığa çıkan karbon emisyonlarıdır [3].

Bina karbon değerlendirmelerinde bina kabuğunun emisyonlar üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmüştür. Kabukta kullanılacak olan alüminyum, yalıtım malzemeleri, cam gibi malzeme türleri gömülü karbon yükü bakımından yüksek değerlere sahiptirler [4]. Bina kabuğunda malzeme seçimi bu noktada önem taşımaktadır.

Her geçen gün sera gazı emisyonlarının çevre üzerindeki olumsuz etkilerin sonuçlarıyla daha hızlı karşılaşılmaktadır. Bu etkilere karşı farkındalık arttıkça yapıların karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik çalışmalar da çoğalmıştır. Mevcut literatürde, operasyonel karbon ve enerji değerlerinin gömülü değerlere göre daha yüksek olması nedeniyle operasyonel değerlere odaklanılsa da 60 yıllık ömrü olan bina için gömülü karbon değerlerinin tüm karbon salımı içinde %31-44 arası önemli bir paya sahip olduğu görülmektedir [5]. Bu oranlar, bina türüne bağlı olmakla birlikte [6], geleneksel olarak tasarlanıp inşa edilmiş binalarda gömülü enerji düşük bir etkiye sahiptir [7].

Bu çalışma, geleneksel Mardin Evleri için simülasyon araçları kullanılarak yaşam döngüsü analizi bağlamında geleneksel ve çağdaş malzemelerin kullanıldığı farklı bina kabuğu örneklerinde, enerji harcamaları ve karbon değerlerini karşılaştırmaktadır. Bir binanın enerji harcamaları ile karbon emisyon değeri arasındaki bağlantıyı gelecek tasarımlarda yol gösterici olmak amacıyla analiz etmektedir.

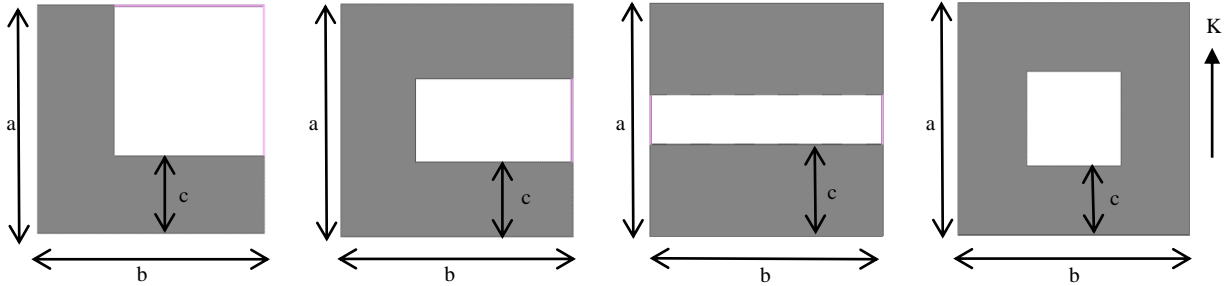
## 2. YÖNTEM

Bu çalışma bina kabuğunda kullanılan geleneksel ve çağdaş malzemelerin gömülü ve operasyonel karbon üzerindeki etkisini incelemeyi amaçlamaktadır. Simülasyon araçları kullanılarak karbon emisyonu ve enerji tüketimi değerlendirmeleri yapılan çalışmanın başlangıcında, farklı gömülü karbon hesaplama araçlarının analizi ile bu araçların hangi özelliklere ve veri tabanlarına sahip olduklarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu değerlendirme sonucunda enerji hesaplamaları için Design Builder ve karbon emisyon değerlerinin hesaplanması için Design Builder ile entegre

çalışan One Click LCA simülasyon araçları seçilmiştir [8-9]. Çalışma alanı olarak kendine özgü geleneksel malzemeye sahip olan Mardin şehri seçilmiştir. Mardin şehri için farklı tipte bina tipolojileri oluşturularak Design Builder programında modellenmiştir. Bu tipolojiler için geleneksel ve çağdaş malzemeler ile bina kabuğu seçenekleri belirlenmiştir. Oluşturulmuş olan bina kabuğu seçenekleri üzerinden One Click LCA uygulamasında m<sup>2</sup> başına düşen karbon emisyon hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen veriler, analiz edilerek tablo ve grafiklerle değerlendirilmiştir.

## 2.1. Bina Tipolojilerinin Oluşturulması

Mardin şehrindeki geleneksel ev plan tiplerinden yola çıkarak L tipi plan, U tipi plan, iç avlulu plan ve orta avlulu plan tipleri Design Builder programında modellenmiştir. Sıcak kuru bölgede yer alan geleneksel ev tasarımı için soğutma yüklerinin azaltılmasına olanak sağlayan tasarım ve yönlendirme seçenekleri tercih edilir [10]. Bu çalışmada da binaların yönü, farklı yönlendirmeler için simülasyon sonuçlarına bakılarak soğutma yükleri en az olacak şekilde seçilmiştir (Şekil 1). Her plan tipi için A/V oranları (ısı kaybeden toplam yüzey alanı/ yapının ısıtılan hacmi) 0,5 ve 1 olacak şekilde toplam 8 bina modellenmiştir. A/V oranları hesaplanırken belirtilen kenar uzunluk değerlerine göre hesaplama yapılmış, çatıdan ve toprağa oturan döşemeden de ısı kaybı olduğu için toplam yüzey alanı hesabına çatı ve zemin de katılmıştır (Çizelge 1). Geleneksel bir Mardin evinin kat yüksekliği, duvarlarda kullanılan Mardin taşının sayısına bakılarak ortalama 3- 5 metre arasında değişmektedir [11]. Bu çalışmada ele alınan modeller, 2 katlı olup, kat yüksekliği 4 m'dir (Çizelge 2). Modellerde avlular dışında pencere kullanılmamış, avlu pencere açıklıkları da %20 oranında seçilmiştir. Mardin için yapılan bu çalışma kapsamında simülasyon aracına Mardin iklim verisi girilmiştir. Isıtma için doğalgaz ile çalışan radyatör ısıtmalı, sıcak su kazan sistemi seçilmiştir. Soğutma sistemi için elektrik ile çalışan klima sistemi kullanıldığı varsayılmıştır. Merkezi sıcak su için elektrikle çalışan sistem önerilmiştir.

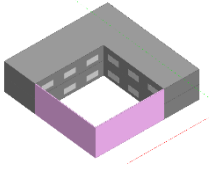
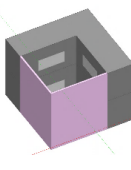
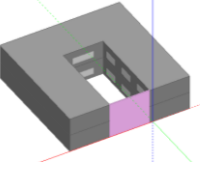
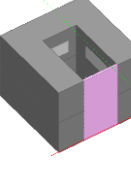
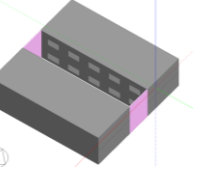

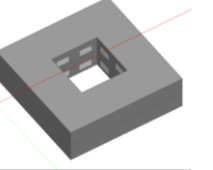



Şekil 1. Modellerin yönlendirmeleri

Çizelge 1. Modellerin kenar uzunlukları ve yükseklikleri

	A/V	a (m)	b (m)	c (m)	h (m)
L tipi plan	0,5	28	28	9,5	8
	1	12	12	3	8
U tipi plan	0,5	28	28	9	8
	1	12	12	2,9	8
İç avlulu plan	0,5	28	28	11	8
	1	12	12	3,4	8
Orta avlulu plan	0,5	28	28	8	8
	1	12	12	2,7	8

Çizelge 2. Mardin şehri için bina tipolojileri

L tipi model	<p>A/V=0,5</p>  <p>L 0,5</p>	<p>A/V=1</p>  <p>L 1</p>
U tipi model	 <p>U 0,5</p>	 <p>U 1</p>
İç Avlulu model	 <p>İ 0,5</p>	 <p>İ 1</p>
Orta Avlulu model	 <p>O 0,5</p>	 <p>O 1</p>

## 2.2. Bina Kabuğu Seçeneklerinin Oluşturulması

Her bina tipolojisi için farklı bina kabuğu seçenekleri belirlenmiştir. Kabuktaki katmanlar, TS-825 standardına göre Mardin şehrinin dahil olduğu 2. bölgenin yapı kabuğu toplam ısı geçirme katsayısı üst sınır değerlerine (U-değerlerine) uygun olarak seçilmiştir. 4 farklı kabuk seçeneği için ısı iletkenlik hesap değeri, özgül ısı ve yoğunluk değerleri verilmiştir (**Çizelge 3**). Mardin taşının fiziksel özelliklerinden ısı iletkenliği 0,7985 W/m-K, özgül ısı 987,6 J/kg-K ve yoğunluğu 1580 kg/m<sup>3</sup> şeklindedir [12]. Design Builder programında yeni malzemeler oluşturularak malzemenin özellikleri olarak, tabloda verilen değerler kullanılmıştır.



Çizelge 3. Seçeneklerin katman detayları ve fiziksel özelliklerine ilişkin değerler

Bina kabuğu ana malzemesi	Katmanlar	Kalınlık (m)	U değeri (W/ m <sup>2</sup> K)	Isıl iletkenlik hesap değeri (W/m K)	Özgül ısı (J/kg-K)	Yoğunluk (kg/ m <sup>3</sup> )
Mardin taşı	Mardin taşı	0,8	0,556	0,7985	987,6	1580
	Ekstrüde Polistiren (XPS)	0,02		0,034	1400	35
	Alçı sıva	0,015		0,4	1000	1000
Gaz beton	Çimento harçlı sıva	0,02	0,554	0,72	840	1760
	Ekstrüde Polistiren (XPS)	0,025		0,034	1400	35
	Gaz beton	0,2		0,24	1000	750
	Alçı sıva	0,015		0,4	1000	1000
Beton	Çimento harçlı sıva	0,02	0,562	0,72	840	1760
	Ekstrüde Polistiren (XPS)	0,045		0,034	1400	35
	Beton	0,25		1,13	1000	2000
	Alçı sıva	0,015		0,4	1000	1000
Tuğla	Çimento harçlı sıva	0,02	0,549	0,72	840	1760
	Ekstrüde Polistiren (XPS)	0,045		0,034	1400	35
	Tuğla	0,19		0,72	840	1920
	Alçı sıva	0,015		0,4	1000	1000

### 2.3. Bina Tipolojilerinin One Click LCA Programına Entegrasyonu

Design Builder programında binalar modellenip malzeme seçimleriyle birlikte kabuk seçenekleri oluşturulduktan sonra simülasyon uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlarından operasyonel enerji verileri alınmıştır.

Modellerin yapıldığı araç ile simülasyonların gerçekleştirileceği araç farklı olduğu için entegrasyon yapılması gerekmektedir. Bu nedenle One Click LCA programının web kullanımı yüksek lisans öğrencisi lisansı ile kullanılmıştır. Modeller entegre edilirken programlar arası malzeme bilgileri otomatik eşlenmektedir. Bu eşleme sonucunda malzeme seçimlerinde değişiklik yapılabilmektedir. Bu çalışma için bina kabuğunda kullanılan gövde malzemesi dışındaki tüm malzemeler programlar arası otomatik eşleme ile seçilmiştir. Mardin taşı, gaz beton, beton ve tuğla gibi duvar malzemeleri ise One Click LCA programının sunduğu veri tabanından Türkiye’de üretilip ulaşılabilir olan malzemeler olarak belirlenmiştir. Malzemeler karşılaştırmalarda nakliye hesaplamaya katılmamıştır. Bina ömrü ise 50 yıl olarak alınmıştır.

Gömülü karbon hesabının yanında toplam karbon değerine ulaşabilmek için Design Builder programından alınan elektrik, gaz kullanım verileri One Click LCA programına girilerek sonuçlar elde edilmiştir.

## 3. BULGULAR

Her seçenek için uygulanan simülasyonlardan elde edilen veriler grafiklerle sunulmuştur. Şekillerde gömülü karbon, operasyonel karbon ve enerji harcamaları verilmiştir. Gömülü karbon değeri yapıda kullanılan malzemelerin üretim, uygulama ve nakliyesinde meydana gelen emisyon değerlerini göstermektedir. Bu çalışmada nakliye aşamasındaki karbon değerleri karşılaştırmalara

katılmamıştır. Operasyonel karbon değeri yapının kullanım aşamasındaki karbon emisyonu değerlerini göstermektedir. Bu çalışmada seçeneklerin karşılaştırılmasında karbon değerleri, m<sup>2</sup> başına düşen değer olarak hesaplanarak kilogram cinsinden verilmiştir.

Bina kabuğunda kullanılan ana malzemeye göre geleneksel malzeme olan Mardin taşı kullanımı çağdaş malzemeler arasında en düşük karbon emisyonu değerine sahiptir. A/V oranı 0,5 olan seçeneklerde en düşük gömülü karbon değeri her plan tipinde bina kabuğu ana malzemesi olarak Mardin taşı kullanılması durumundayken, en yüksek değer L tipi ve orta avlulu plan için beton, U tipi ve iç avlulu plan tipleri için tuğla kullanılması durumundadır. Gömülü karbon değerlerine göre m<sup>2</sup> başına düşen en az karbon değeri 114 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> ile orta avlulu bina tipolojisinde A/V oranı 0,5 (O 0,5) olan ana malzemenin Mardin taşı olduğu seçenektir. Gömülü karbon değeri, A/V oranı 0,5 olan orta avlulu bina tipolojisine sahip modelde bina kabuğunun ana malzemesinin Mardin taşı olduğu seçeneğine oranla; ana malzemenin tuğla seçilmesi durumunda %45,61 oranında, gaz beton seçilmesi durumunda %33,33 oranında ve beton seçilmesi durumunda %49,99 oranında artmaktadır (**Şekil 2**).

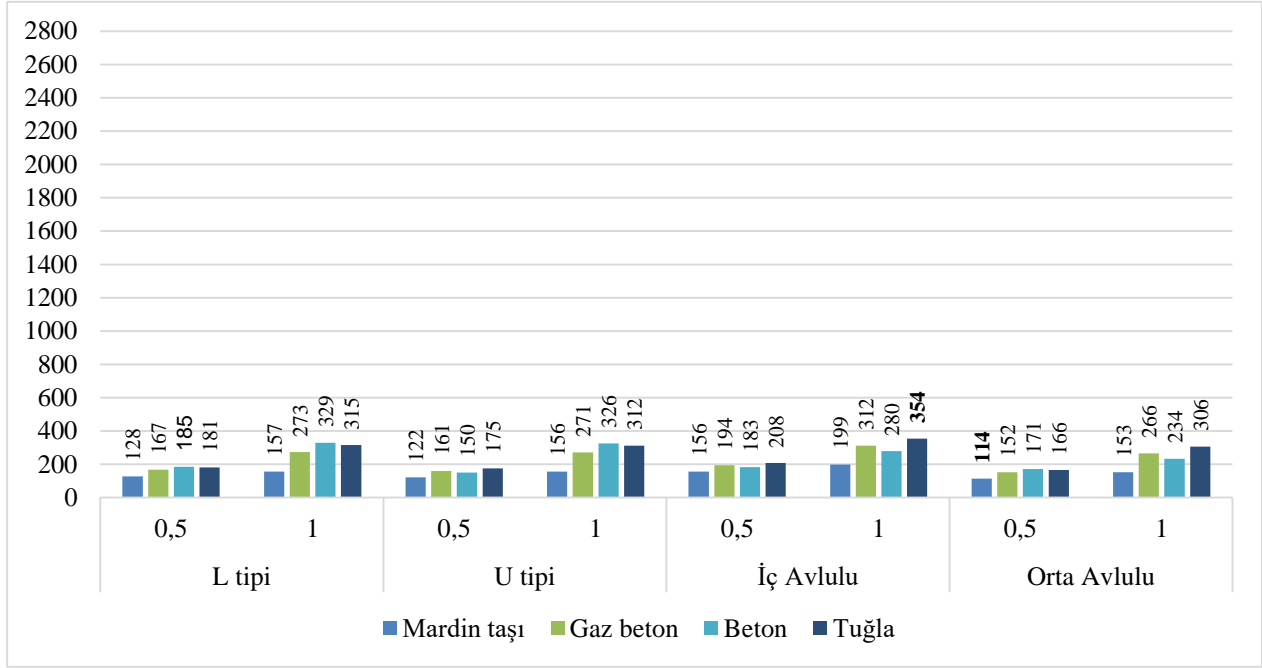
**Şekil 2**'ye göre A/V oranı 1 olan seçeneklerde en düşük gömülü karbon değerine sahip bina tipolojisi 153 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> ile orta avlulu bina kabuğu ana malzemesinin Mardin taşı, en yüksek gömülü karbon değerine sahip bina tipolojisi ise 354 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> değeri ile iç avlulu (İ1) tuğlanın ana malzeme olduğu seçenektir.

Orta avlulu plan tipi (O1) için ana malzeme olarak Mardin taşı kullanımında gömülü karbon 153 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>, gaz beton kullanımında 266 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>, beton kullanımında 234 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> ve tuğla kullanımında 306 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> değerindedir. A/V oranı 1 olan orta avlulu modelde, en düşük gömülü karbon değerini sağlayan bina kabuğunun ana malzemesinin Mardin taşı olduğu seçeneğine oranla; bina kabuğunun ana malzemesinin tuğla seçilmesi durumunda gömülü karbon değeri %100 oranında, gaz beton seçilmesi durumunda %73,85 oranında, beton seçilmesi durumunda %52,94 oranında artmaktadır (**Şekil 2**). Nakliyenin katılmadığı bu hesaplamalarda yerinden çıkan ve bina yapımında kullanılan geleneksel bir malzemenin çevresel etkisinin çağdaş malzemelere oranla daha olumlu olduğu görülmektedir.

Mardin şehrine özgü oluşturulan modellerde A/V oranı 1 olan farklı bina tipolojilerine bağlı olarak gömülü karbon değeri en düşük olan orta avlulu plan tipi, ortalama olarak en yüksek olan ise iç avlulu plan tipi şeklindedir. U ve L plan tipi aynı bina kabuğu malzemelerinde değerleri artarak birbirine benzer grafikler sunmuştur (**Şekil 2**).

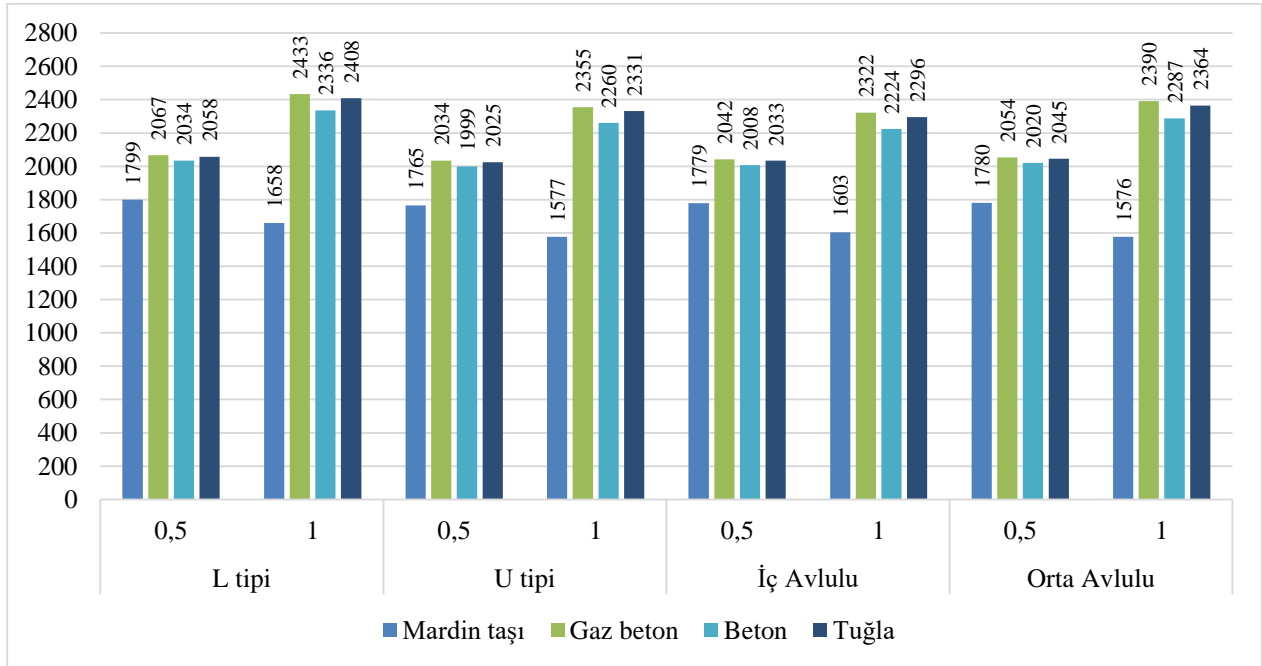
Operasyonel karbon değerlerinin en düşük olduğu seçenekler her plan tipinde bina kabuğu ana malzemesi olarak Mardin taşı kullanılması durumundayken, en yüksek değer ana malzeme olarak gaz beton kullanılması durumundadır. A/V oranı 0,5 olan seçeneklerde en düşük operasyonel karbon değeri, 1765 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> ile U 0,5, bina kabuğu ana malzemesi olarak Mardin taşı kullanılan seçeneğe aittir. A/V oranı 0,5 olan farklı plan tiplerinde bina kabuğunun ana malzemeleri aynı olduğunda her malzeme için en düşük operasyonel karbon değerini veren U plan tipidir (**Şekil 3**).

A/V oranı 1 olan seçeneklerde en düşük operasyonel karbon değeri, 1576 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> değeri ile O 1 ana malzemenin Mardin taşı olduğu seçenektir. Operasyonel karbon değeri en düşük seçenek olan orta avlulu A/V oranı 1 olan seçenekte bina kabuğu ana malzemesi olarak Mardin taşı kullanılmasına oranla; ana malzeme olarak gaz beton kullanılması durumunda %51,67, ana malzeme olarak beton kullanılması durumunda %45,11 ve ana malzeme olarak tuğla kullanılması durumunda %50,03 oranında artmaktadır (**Şekil 3**).

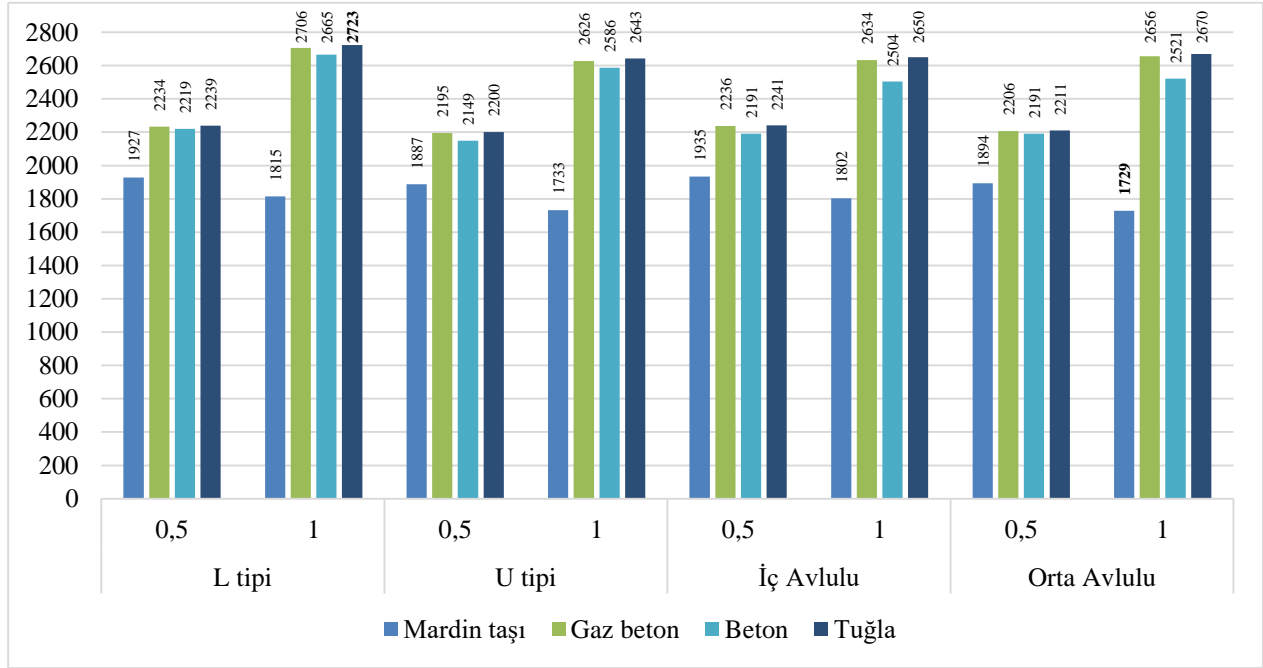


Şekil 2. Modellerde m<sup>2</sup> başına düşen gömülü karbon değerleri (kgCO<sub>2</sub>e/ m<sup>2</sup>)

Toplam karbon değerlerine göre m<sup>2</sup> başına düşen en az karbon değeri 1729 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> ile orta avlulu bina tipolojisinde A/V oranı 1 olan Mardin taşının ana malzeme olduğu seçenektir(O1). Metrekare başına düşen toplam karbon değerine göre en yüksek karbon değeri sağlayan seçenek ise 2723 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> değeri ile L tipi, A/V oranı 1 olan tuğlanın ana malzeme olduğu seçenektir (L1) (Şekil 4).



Şekil 3. Modellerde m<sup>2</sup> başına düşen operasyonel karbon değeri (kgCO<sub>2</sub>e/ m<sup>2</sup>)



Şekil 4. Modellerde m<sup>2</sup> başına düşen toplam karbon değeri (kgCO<sub>2</sub>e/ m<sup>2</sup>)

Modellerin A/V oranı arttıkça gömülü karbon değerleri de tüm bina kabuğu seçeneklerinde artmaktadır. Toplam karbon değerlerinde ise Mardin taşının ana malzeme olduğu bina kabuğu seçeneği dışında A/V oranı arttıkça toplam karbon değerinin arttığı görülmektedir. Mardin taşı kullanılan seçeneklerde diğer bina kabuğu seçeneklerinden farklı olarak A/V oranı arttıkça toplam karbon değerleri azalmıştır (Şekil 4).

Bina kabuğu ana malzemesi olarak Mardin taşı kullanılan L plan tipinde A/V oranı 0,5 değerinden 1 değerine çıkarken m<sup>2</sup> başına düşen toplam karbon değeri %6,15 azalmakta, U plan tipinde %8,9 azalmakta, iç avlulu plan tipinde %7,34 azalmakta, orta avlulu plan tipinde %9,53 oranında azalmaktadır. Bina kabuğunda ana malzeme olarak gaz beton malzeme kullanılması ise A/V oranı 1 olan seçeneklerde 0,5 olanlara oranla karbon salım değerlerini ortalama %16,48 oranında arttırarak olumsuz çevresel etki yaratır. Aynı şekilde bu artış oranı bina kabuğunda ana malzeme olarak beton kullanılan seçenekler için ortalama %14,8 iken, tuğla kullanılanlar için %16,79 şeklindedir (Şekil 4).

İncelenen seçenekler için operasyonel karbon değerlerinin gömülü karbona oranla toplam karbon değeri üzerinde daha fazla paya sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle, seçenekler için operasyonel enerji harcamaları ve operasyonel karbon değerleri çizelgelerde karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4'te A/V oranı 0,5 olan seçenekler ele alınarak Design Builder programından alınan enerji harcamaları ile One Click LCA programından alınan operasyonel karbon değerleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaya göre m<sup>2</sup> başına düşen enerji harcaması ve operasyonel karbon değeri en az olan U 0,5 plan tipinde bina kabuğunun ana malzemesinin Mardin taşı olduğu seçenektir.

Bina kabuğunda ana malzeme olarak Mardin taşı kullanılması binanın enerji ihtiyacını azaltmakta ve diğer seçeneklere oranla daha düşük enerji harcaması gerçekleşmektedir. Enerji harcamasını azaltmaya çalışan bir bina tasarımı yapıldığı varsayılarak enerji harcama değeri Çizelge 4'te 76,1 kWh/m<sup>2</sup> ile en düşük olan U tipi planda bina kabuğunun ana malzemesinin Mardin taşı olduğu seçenek referans olarak alınmıştır. Alınan bu referansa göre enerji harcamalarında diğer seçeneklere göre yüzdelik artış oranları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaya göre farklı bina tipolojileri açısından incelendiğinde, L tipi plan bina kabuğunda kullanılan her ana malzemede en yüksek yüzdelik artış oranlarına sahiptir. Referans seçilen seçeneğe göre L tipi plan için bina kabuğunun ana malzemesinde de Mardin taşı kullanılması durumunda enerji harcaması %3,15, ana malzemede gaz beton kullanılması durumunda %17,11, ana malzemede beton kullanılması durumunda %15,5 ve ana malzemede tuğla kullanılması durumunda %16,56 oranında artmaktadır (**Çizelge 4**).

1765 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> ile en düşük operasyonel karbon değerine sahip, bina kabuğunda ana malzeme olarak Mardin taşı kullanılan U 0,5 seçeneği referans alınarak operasyonel karbon değerlerinde yüzdelik artış oranları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaya göre en yüksek artış %17,11 oranı ile L 0,5 ana malzemenin gaz beton olduğu seçenektir. Farklı plan tiplerinde aynı bina kabuğu ana malzemesi kullanıldığında; L plan tipi en yüksek operasyonel karbon artış oranına sahip olmuştur (**Çizelge 4**).

Her plan tipi için enerji harcamalarındaki ve operasyonel karbondaki artış oranları kullanılan ana malzemenin Mardin taşı olduğu seçenektir sonra ana malzemede beton, tuğla ve gaz beton kullanımı açısından sırasıyla artmaktadır (**Çizelge 4**).

**Çizelge 4.** Seçeneklerin enerji harcamaları ve karbon değerleri açısından karşılaştırılması (A/V=0,5)

		Enerji harcamaları (kWh/ kg)	Enerji harcamaları artış oranı (%)	Operasyonel karbon değeri (kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )	Operasyonel karbon artış oranı (%)
L tipi plan	Mardin taşı	78,5	3,15	1799	1,93
	Gaz beton	89,1	17,11	2067	17,10
	Beton	87,9	15,50	2034	15,26
	Tuğla	88,7	16,56	2058	16,59
U tipi plan	Mardin taşı	76,1		1765	
	Gaz beton	86,8	14,09	2034	15,25
	Beton	85,6	12,43	1999	13,27
	Tuğla	86,4	13,52	2025	14,74
İç Avlulu Plan	Mardin taşı	77,1	1,30	1779	0,78
	Gaz beton	87,6	15,07	2042	15,72
	Beton	86,3	13,42	2008	13,76
	Tuğla	87,1	14,48	2033	15,19
Orta Avlulu Plan	Mardin taşı	77,1	1,32	1780	0,82
	Gaz beton	88,0	15,62	2054	16,37
	Beton	86,7	13,96	2020	14,43
	Tuğla	87,5	15,05	2045	15,84

Çizelge 5'e göre A/V oranı 1 olan seçenekler için enerji harcamaları ve operasyonel karbon değerleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaya göre m<sup>2</sup> başına düşen enerji harcaması en az olan 83,1 kWh/m<sup>2</sup> değeri ile İ 1 bina kabuğu ana malzemesinde Mardin taşı kullanılan seçenek ve operasyonel karbon değeri en az olan 1576 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> değeri ile O 1 bina kabuğunun ana malzemesinde Mardin taşı kullanılan seçenektir.

En düşük enerji harcamasını sağlayan iç avlulu plan tipinde bina kabuğunun ana malzemesi olarak Mardin taşı kullanılan seçeneğin enerji harcamaları referans alınarak diğer seçeneklerde enerji harcamalarında gerçekleşen artış oranı yüzdelik olarak verilmiştir. Bu karşılaştırmaya göre, en yüksek artış %43,63 oranı ile L 1 ana malzemede gaz beton kullanılan seçenektir. Ana malzemede Mardin taşı kullanılan planlar arasında en düşük artış oranı %0,04 ile U tipi plandır. Bunu sırasıyla %0,35 artış oranı ile orta avlulu plan ve %6,72 artış oranı ile L tipi plan takip etmektedir (**Çizelge 5**).

En düşük operasyonel karbon değerini sağlayan O 1 ana malzemenin Mardin taşı olduğu seçenek referans alınarak operasyonel karbon değerlerindeki artışlar yüzdelik olarak karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaya göre en yüksek artış %54,43 oranı ile L 1 ana malzemenin gaz beton olduğu seçenektir. Referans alınan seçeneğe göre her ana malzeme için en yüksek artış oranlarını veren L tipi plan incelendiğinde; operasyonel karbon değeri ana malzemede Mardin taşı kullanılması durumunda %5,25, ana malzemede gaz beton kullanılması durumunda %54,53, ana malzemede beton kullanılması durumunda %48,24 ve ana malzemede tuğla kullanılması durumunda %52,81 oranında artmaktadır (**Çizelge 5**).

Tüm plan tiplerinde operasyonel karbon ve enerji harcama değerleri bina kabuğunda kullanılan ana malzemenin Mardin taşı, beton, tuğla ve gaz beton olması şeklinde sırasıyla artmaktadır. Bina kabuğunda aynı ana malzemenin kullanıldığı seçenekler için farklı plan tiplerinde en yüksek enerji harcaması ve operasyonel karbon artış oranı L plan tipine aittir (**Çizelge 5**).

**Çizelge 5.** Seçeneklerin enerji harcamaları ve karbon değerleri açısından karşılaştırılması (A/V=1)

		Enerji harcamaları (kWh/ m <sup>2</sup> )	Enerji harcamaları artış oranı (%)	Operasyonel karbon değeri (kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )	Operasyonel karbon artış oranı (%)
L tipi plan	Mardin taşı	88,7	6,72	1658	5,25
	Gaz beton	119,4	43,63	2433	54,43
	Beton	115,8	39,22	2336	48,24
	Tuğla	118,2	42,17	2408	52,81
U tipi plan	Mardin taşı	83,2	0,04	1577	0,06
	Gaz beton	113,9	36,93	2355	49,48
	Beton	110,4	32,73	2260	43,44
	Tuğla	112,7	35,54	2331	47,92
İç Avlulu Plan	Mardin taşı	83,1		1603	1,75
	Gaz beton	111,3	33,84	2322	47,34
	Beton	107,9	29,75	2224	41,16
	Tuğla	110,1	32,42	2296	45,69
Orta Avlulu Plan	Mardin taşı	83,4	0,35	1576	
	Gaz beton	115,8	39,23	2390	51,70
	Beton	112,0	34,73	2287	45,13
	Tuğla	114,5	37,71	2364	50,05

**Çizelge 6'**da farklı A/V oranları için en düşük toplam karbon değerini sağlayan seçeneğe kıyasla diğer seçeneklerin toplam karbon artış oranları yüzdelik olarak verilmiştir. Her A/V oranı için toplam karbon artış oranları, tüm plan tiplerinde bina kabuğunun ana malzemesinin Mardin taşı olduğu seçenekten sonra ana malzemede beton, gaz beton ve tuğla kullanımı açısından sırasıyla artmaktadır.

Bina kabuğunda ana malzeme olarak Mardin taşı kullanılan A/V oranı 0,5 olan seçenekler içinden 1887 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> ile U tipi plan en düşük toplam karbon değerine sahiptir (U 0,5). Bu seçenek referans alınarak toplam karbon değerlerinde yüzdelik artış oranları karşılaştırmasına göre en yüksek artış %18,76 oranı ile İ 0,5, ana malzemenin tuğla olduğu seçenektir. A/V oranı 0,5 olan seçenekler için, farklı plan tiplerinde aynı bina kabuğu ana malzemesi kullanıldığında en yüksek toplam karbon artış oranına ana malzemede Mardin taşı, gaz beton ve tuğla kullanılan plan tipleri içerisinde iç avlulu plan tipi, beton kullanılan plan tiplerinden ise L tipi plan sahiptir (**Çizelge 6**). A/V oranı 1 olan seçenekler için en düşük toplam karbon değerini sağlayan O 1 ana malzemenin Mardin taşı olduğu seçenek referans alınarak toplam karbon değerlerindeki artışlar karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaya göre, en yüksek artış %57,51 oranı ile L 1 ana malzemenin tuğla olduğu seçenektir. Farklı plan tiplerinde aynı bina kabuğu ana malzemesi kullanıldığında, en yüksek toplam karbon artış oranına L tipi plan sahiptir. A/V oranı 1 olan seçenekler içerisinde referans alınan değere göre kullanılan her bina kabuğu ana malzemesi için en yüksek artış oranını veren L tipi plana oranla; toplam karbon değerleri bina kabuğunun ana malzemesinde Mardin taşı kullanılması durumunda %5,01, ana malzemesinde gaz beton kullanılması durumunda %56,55, ana malzemesinde beton kullanılması durumunda %54,15 ve ana malzemesinde tuğla kullanılması durumunda %57,51 oranında artmaktadır (**Çizelge 6**).

**Çizelge 6.** Seçeneklerin toplam karbon değerleri açısından karşılaştırılması

		A/V = 0,5		A/V = 1	
		Toplam karbon değeri (kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )	Toplam karbon artış oranı (%)	Toplam karbon değeri (kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )	Toplam karbon artış oranı (%)
L tipi plan	Mardin taşı	1927	2,12	1815	5,01
	Gaz beton	2234	18,38	2706	56,55
	Beton	2219	17,61	2665	54,15
	Tuğla	2239	18,64	2723	57,51
U tipi plan	Mardin taşı	1887		1733	0,23
	Gaz beton	2195	16,33	2626	51,92
	Beton	2149	13,90	2586	49,60
	Tuğla	2200	16,59	2643	52,88
İç Avlulu Plan	Mardin taşı	1935	2,53	1802	4,26
	Gaz beton	2236	18,52	2634	52,35
	Beton	2191	16,10	2504	44,86
	Tuğla	2241	18,76	2650	53,28
Orta Avlulu Plan	Mardin taşı	1894	0,35	1729	
	Gaz beton	2206	16,90	2656	53,66
	Beton	2191	16,09	2521	45,82
	Tuğla	2211	17,15	2670	54,48

## 4. SONUÇLAR

Binaların ön tasarım aşamasında yaşam döngüsü analizi yapılarak karbon emisyonu değerlerinin ve enerji harcamalarının belirlenmesi, düşük enerji harcamaları ve düşük karbon emisyonu değerlerine sahip binaların ön tasarım aşamasında belirlenerek uygulama aşamasında enerji etkin ve sürdürülebilir binaların gerçekleştirilmesini olanaklı kılar.

Yapılan çalışmada, bina kabuğu tasarımındaki karbon değeri etkilerini incelemek için farklı araçlar kullanılarak oluşturulan seçenekler için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar kapsamında farklı bina tiplerinde, farklı A/V oranlarında ya da farklı bina kabuğu katmanlaşmalarında elde edilen karbon emisyonları değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalara göre bina kabuğunda Mardin taşı gibi geleneksel malzeme kullanımı çağdaş malzemelere göre operasyonel enerji harcamalarını azaltmaktadır. Aynı zamanda malzemenin doğal olması kaynaklı işlenmesi ve yapı malzemesi olarak kullanım formunda üretilmesi için diğer malzemelere oranla karbon emisyonu düşük olmaktadır. Dolayısıyla binada geleneksel Mardin taşı kullanımı çağdaş malzemelere göre gömülü karbon değerini, operasyonel karbon değerini ve toplam karbon değerini azaltmaktadır.

Modellenen planlarda A/V oranının artması ana malzemenin Mardin taşı, gaz beton, beton ve tuğla olduğu seçeneklerde operasyonel enerji harcamalarını arttırmıştır. Bunlara ek olarak, enerji harcaması ve operasyonel karbon değerleri karşılaştırılmıştır. Seçeneklere bağlı olarak operasyonel enerji harcamaları düşük olan bir seçeneğin toplam karbon değerleri yüksek olabilmekte ya da tersi olabilmektedir. İncelenen seçenekler için enerji harcama ve operasyonel karbon değerleri aynı plan tipi için farklı malzemeler kullanılması durumunda en düşükten en yükseğe doğru; Mardin taşı, beton, tuğla ve gaz beton şeklinde sıralanmakta, toplam karbon değerleri için Mardin taşı, beton, gaz beton ve tuğla şeklinde sıralanmaktadır. Farklı plan tipi için aynı malzemeler kullanıldığında ise enerji harcamalarında ve operasyonel karbon değerlerinde en yüksek değeri L tipi plan vermektedir. Toplam karbon değerlerinde ise A/V oranı 1 olan seçenekler için L tipi; A/V oranı 0,5 olan seçenekler için ana malzeme Mardin taşı, gaz beton ve tuğla kullanıldığında iç avlulu plan tipi, beton kullanıldığında L tipi plan vermektedir. Bunlara bağlı olarak, sürdürülebilir bir bina tasarımında tek bir parametreye dayalı yaklaşım ile uygulama yapılması binanın yaşamı boyunca oluşturacağı çevresel zararların bir kısmını göz ardı etmeye sebep olabilir. Bu nedenle daha bütüncül bir yaklaşım ile tüm parametreler göz önünde bulundurularak optimizasyon yapılması gerekmektedir. Gelecek çalışmalarda çok fazla seçenek üzerinden binanın yaşamı boyunca harcadığı enerji belirlenerek karbon değerleri ile karşılaştırılarak uygun tasarım parametrelerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılacaktır.

Sonuç olarak, Mardin kentindeki evler gibi geleneksel örnekler üzerinden yapılan bu analizlerin, benzer iklim ve malzeme koşullarına sahip bölgelerde tasarım uygulamalarına yol göstermesi beklenmektedir. Bu bağlamda, geleceğe dönük olarak, binaların performans değerlendirmelerinde farklı dijital tasarım araçları kullanılarak çok parametrelili bir yaklaşımla tasarım aşamasında en uygun seçeneklerin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılması hedeflenmektedir.

## KAYNAKLAR

1. IEA, "Tracking Clean Energy Progress 2023", International Energy Agency, Paris (2023).

2. C. Peng, "Calculation of a building's life cycle carbon emissions based on Ecotect and building information modeling," *Journal of Cleaner Production*, 112, (2016), p. 453–465



3. M. Bayraktar, T. Üzümoğlu, B. Binatlı, “Türkiye Bina Sektörü Karbonsuzlaşma Yol Haritası,” T.C.Çevre ve Şehircilik İklim Değişikliği Bakanlığı, (2023).
4. T. M. Echenagucia, T. Moroseos, C. Meek, “On the tradeoffs between embodied and operational carbon in building envelope design: The impact of local climates and energy grids,” *Energy and Buildings*, 278, (2023).
5. C. R. Iddon, S. K. Firth, “Embodied and operational energy for new-build housing: A case study of construction methods in the UK,” *Energy and Buildings*, 67, (2013).
6. L.J. Hurst, T.S. O’Donovan, “A review of the limitations of life cycle energy analysis for the design of fabric first low-energy domestic retrofits,” *Energy and Buildings*, 203 (109447), (2019).
7. L. F. Cabeza, L. Boquera, M. Chàfer, D. Várez “Embodied energy and embodied carbon of structural building materials: Worldwide progress and barriers through literature map analysis,” *Energy and Buildings*, 231, (2021).
8. One Click LCA Simülasyon Aracı, Yüksek lisans öğrenci Lisansı, Versiyon: 0.26.0, Veri Tabanı Versiyonu: 7.6
9. Design Builder Simülasyon Aracı, Versiyon: 7.0.2.006, (2022).
10. İ. Erdemir, “Sıcak-kuru İklim Bölgelerinde Enerji Korunumu – Yerleşme Dokusu- Form Etkileşimi: Geleneksel Diyarbakır Evleri Örneği” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2014).
11. F. Alioğlu, “Geleneksel Mardin Şehir Dokusu ve Evleri Üzerine Bir Deneme,” Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (1989).
12. H. Adin, “Mardin ve Midyat'ta Kullanılan Bina Yapı Taslarının Bazı Fiziksel Özellikleri,” *Mühendis ve Makine*, 48 (570), (2007), p. 13-17

## **SICAK NEMLİ İKLİM BÖLGELERİNDE HACİM ÖLÇEĞİNDE DOĞAL HAVALANDIRMA ETKİNLİĞİNİN İNCELENMESİ**

Hande Acarı<sup>1</sup>  
Gülten Manioğlu<sup>2</sup>  
İTÜ Mimarlık Fakültesi  
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

### **ÖZET**

*Çalışmada, mekanik havalandırma kullanılmadan enerji etkin ve sağlıklı bir iç ortamın oluşmasına katkıda bulunmak için, açıklık konumlandırılışları farklı olan hacim alternatiflerinde doğal havalandırma etkinliğinin incelenmesi amaçlanmıştır. Özellikle sıcak-nemli iklim bölgelerinde nem düzeyini düşürmek ve yüksek sıcaklık ve nem bileşik etkisini azaltmak amacıyla, hacim ölçeğinde karşılıklı havalandırma yapılması en çok kullanılan pasif tasarım stratejilerinden biridir. Karşılıklı havalandırmada havalandırma etkinliği açıklıkların birbirlerine göre konumuna bağlı olarak değişebilmektedir. Bu nedenle çalışmada üç farklı açıklık konumu için hacim içi doğal havalandırma etkinliği incelenmiştir. DesignBuilder programı kullanılarak yapılan CFD hesaplamaları sonucunda elde edilen veriler yardımıyla baş hizası; yani zeminden 1.5 m. yükseklikte gerçekleşen rüzgar hızları değerlendirilmiş ve bu girdilerin doğal havalandırma potansiyeli üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Değerlendirilen üç farklı konfigürasyon içinde açıklıkların karşılıklı cephelerde şaşırtmalı olarak konumlandırıldığı seçeneklerin konforlu koşulları sağlayabildiği görülmüştür.*

*Anahtar sözcükler: Doğal Havalandırma, karşılıklı havalandırma, CFD, enerji etkin tasarım stratejileri.*

### **ABSTRACT**

*The aim of the study is to examine the effectiveness of natural ventilation in velocity alternatives with different opening positioning in order to contribute to the creation of an energy efficient and healthy indoor environment without the use of mechanical ventilation. In order to reduce the humidity level and reduce the combined effect of high temperature and humidity, especially in hot-humid climate regions, volume-scale cross ventilation is one of the most commonly used passive design strategies. In cross ventilation, ventilation effectiveness may vary depending on the position of the openings relative to each other. For this reason, in the study, the natural ventilation efficiency within the volume was examined for three different opening positions. With the help of the data obtained as a result of CFD calculations made using the DesignBuilder program, 1.5 m from the ground floor as the head-level reference wind speeds at altitude were evaluated and the effect of these inputs on natural ventilation potential was investigated. Among the three different configurations evaluated, it was seen that the options in which the openings were positioned staggered on opposite facades could provide comfortable conditions.*

*Key words: Natural Ventilation, cross ventilation, CFD, energy efficient design strategies*

<sup>1</sup> e-posta adresi: acari16@itu.edu.tr

<sup>2</sup> e-posta adresi: manioglu@itu.edu.tr

## 1.GİRİŞ

İklim değişikliği ve küresel ısınmanın bir sonucu olarak sıcak iklim bölgelerinde hacim içi iklimsel konfor koşullarının sağlanabilmesi mekanik soğutma ve havalandırma sistemlerine daha fazla gereksinim duyulmasına yol açmaktadır. Ancak bu sistemlerin çalışabilmesi için fosil yakıt kullanılması, fosil yakıt kullanımının daha fazla CO<sub>2</sub> salımına ve çevresel problemlere yol açması ve tüm bu sürecin iklim değişikliğine ve küresel ısınmaya katkı sağlaması artık söz konusu mekanik sistemlerin yerine sürdürülebilir alternatiflerin üretilmesini gerekli kılmaktadır. Mimarlık alanında sürdürülebilir çözümler üretebilmek, mimari planlamaya entegre edilen pasif tasarım stratejileriyle olanaklıdır. Sıcak iklim bölgelerinde; yerleşmede gölgeli alanlar üretecek şekilde binaları konumlandırmak, bina ölçeğinde bina formu ile kendine gölge atan binalar tasarlamak, hacim ölçeğinde de güneş ışınımının ısıtıcı etkisini yönlendirme ve güneş kontrol elemanları ile azaltmak en yaygın pasif tasarım stratejilerindedir. Ancak sıcak nemli iklim bölgelerinde bu stratejilere ek olarak, aşırı nemin etkisini azaltmak konfor koşullarının sağlanmasında çok önemli bir rol oynadığından planlamada nem düzeyini düşürecek stratejiler uygulamak ve böylece yüksek sıcaklık ve nemin bileşik etkisini azaltmak en önemli tasarım kararlarından biridir.

Binalarda havalandırma ve soğutmayı pasif şekilde sağlamanın en etkili yollarından biri olan doğal havalandırma, özellikle sıcak nemli iklim bölgelerinde konforsuzluk yaratan yüksek nemliliği önlemek açısından çok önemlidir. Mekanik sistemler kullanılmadan havalandırılan binalar kullanıcı açısından daha konforlu ve sağlıklı olmakta, ayrıca binaların enerji tüketimi önemli ölçüde azaltılmaktadır.

Bu nedenle bu çalışmada, Türkiye'nin sıcak-nemli iklim bölgesinde bulunan Antalya ilinde ele alınan bir hacimde, cepheye dik gelen rüzgar etkisi altında, karşılıklı cepheler için önerilen üç farklı açıklık konumu seçeneği uygulandığında gerçekleşen havalandırma koşulları değerlendirilmiştir. Doğal havalandırma yapılan bir hacimde oluşan hava akımı hızları, hız dağılımının kontur ve vektörel olarak ifade edilmesi, sıcaklık değerleri, basınç alanları ve açıklıkların akış karakteristikleri gibi hacimde oluşan hava hareketinin sayısal çözümleri için gerekli olan hesaplamalar sadece "Computational Fluid Dynamics (CFD) - Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD)" yazılımları ile yapılabildiğinden, çalışmada, CFD modelleme işlemleri Design Builder v6.1.0.6 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Design Builder, simülasyon motoru olarak bütünleşik bir simülasyon programı olan Energy Plus programını kullanan, kullanıcı kolaylığı için geliştirilmiş görsel bir ara yüz programıdır. Dinamik termal bir program olan Design builder hesaplamalarında "sonlu farklar hesaplama yöntemi (finite difference)" kullanılmaktadır. Design Builder programı kullanılarak, ısı performans hesaplamaları için üretilen geometrik model ve iç ısı kaynakları ve HVAC sistemleri göz önünde bulundurularak Energy Plus simülasyonu yardımıyla elde edilen sıcaklıklar, yüzey sıcaklıkları ve hava akış verileri sınır koşulları olarak CFD hesaplamalarına aktarılabilmektedir [1]. Çalışmada, hacimde gerçekleşen hava hareketleri CFD yardımıyla incelenmiş ve hacmin giriş ve çıkış açıklıklarına bağlı olarak zeminden 1.5 m. yükseklikteki düzlemde gerçekleşen rüzgar hızları değerlendirilmiştir.

Çalışmadan elde edilen sonuçların; hacimlerdeki giriş ve çıkış açıklıklarının hakim rüzgar yönüne dik olacak şekilde farklı düzenlerde konumlandırılmasına bağlı olarak hacmin içerisindeki rüzgar hızının değişiminin değerlendirilmesinde kullanılmasıyla, enerji etkin tasarım stratejilerine ve özellikle sıcak nemli iklim bölgesi için havalandırma etkisiyle nem değerlerinin azaltılmasına katkı sağlaması beklenmektedir.

## 2. YÖNTEM

Çalışmada kullanılan yöntem, özellikle sıcak-nemli iklim bölgelerinde, hacim ölçeğinde alınan tasarım kararları ile, konfor koşullarının doğal havalandırmanın etkinliğini artırarak sağlanmasına katkıda bulunmasını amaçlamaktadır. Tasarım değişkenlerine ilişkin alınan kararlarla hacim içi havalandırma etkinliğinin artırılması ve bu doğrultuda en uygun konfigürasyonun bulunması da çalışmanın bir diğer hedefidir. Çalışmada ele alınan yöntemin adımları aşağıda açıklanmıştır.

### 2.1. Simülasyona İlişkin Girdilerin Belirlenmesi

Doğal havalandırmanın hacim içi konfor koşullarına etkisinin değerlendirilebilmesi için yapılan hesaplamalarda sabit ve değişken girdilerin belirlenmesi gerekmektedir.

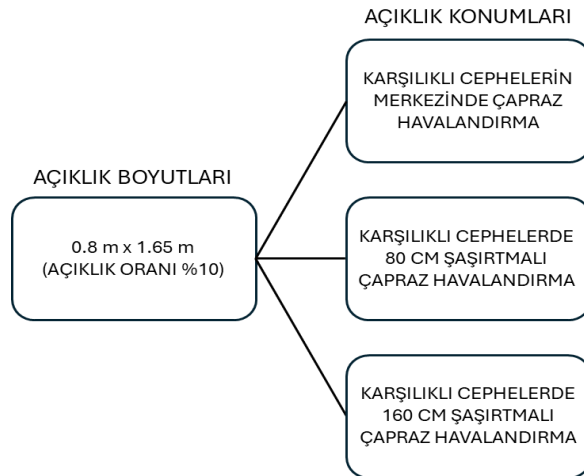
#### 2.1.1. Sabit girdilerin belirlenmesi

Konum, zaman dilimi, sıcaklık, dış rüzgar yönü ve hızı, giriş ve çıkış açıklıklarının boyutları (0.8 m x 1.65 m., tek açıklık, açıklık oranı %10) ve hacim boyutu bu çalışmada sabit olarak kabul edilmiştir. Çalışma kapsamında sıcak-nemli iklim bölgesinde bulunan Antalya ili seçilmiş olup iklim verileri Antalya iline ait .epw uzantılı TMY (Typical meteorological year) hava durumu dosyası enerji hesaplamalarında kullanılmak üzere simülasyon aracına tanımlanmıştır [2].

CFD hesaplamaları için ise, pasif iklimlendirme çalışmalarında ısıtmanın istenmediği dönemi temsil eden 21 Temmuz günü saat 13:00 deki dış rüzgar hızı (3.6 m/s) hesaplamalar için seçilmiştir. Hesaplamalar 4.92 m. x 4.92 m. x 3.00 m. boyutunda olan hacim için yapılmıştır. CFD hesaplamalarında gerekli olan sınır koşulların belirlendiği enerji hesaplamalarında kullanılmak üzere, hacmin bina kabuğu TS825'e göre; dış duvarlar 0,66 W/m<sup>2</sup>K, tavan döşemesi 0,43 W/m<sup>2</sup>K ve zemin döşemesi 0,66 W/m<sup>2</sup>K olacak şekilde tavsiye edilen U değerlerine göre düzenlenmiştir. Pencerelelerin U değeri ise 1,96 W/m<sup>2</sup>K olarak hesaplamalara dahil edilmiştir.

#### 2.1.2. Değişken girdilerin belirlenmesi

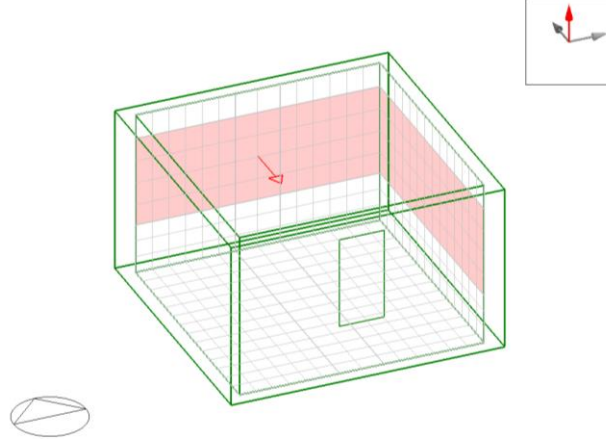
Doğal havalandırmanın hacim içi konfor koşullarına etkisi, giriş ve çıkış açıklıklarının boyutu, konumu ve rüzgara göre yönlendiriliş durumlarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Çalışmada açıklıkların konumları için; *karşılıklı cephelerin merkezinde* olacak şekilde bir seçenek ve *karşılıklı cephelerde şaşırtmalı* olacak şekilde 2 seçenek, toplamda 3 seçenek üretilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1: Değişken Girdilere İlişkin Hesaplama Seçenekleri

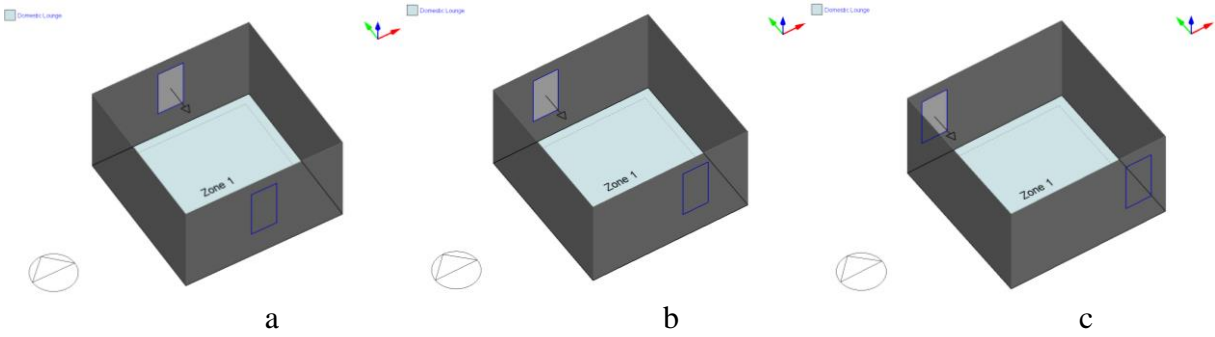
### 2.1.3. Geometrik modelin yapılması

Simülasyonlarda kullanılacak sabit ve değişken parametrelerin belirlenmesinin ardından geometrik model oluşturulmuştur. Design Builder simülasyon programında ısı performans değerlendirmesi için oluşturulan model CFD analizleri için de kullanılabilir. Model ile oluşturulan geometrik alan, sonlu hacimler yöntemi ağı olarak bilinen bir dizi örtüşmeyen bitişik hücreye bölünmüş haliyle simülasyonlarda kullanılabilir (Şekil 2).



Şekil 2: CFD Analizi İçin Oluşturulan Hacim İçi Ağ Örgüsü

İç mekan ağ boyutları, programın CFD simülasyonu için standart olan 0.3 m olarak kabul edilmiştir. Design Builder CFD hesaplamalarında iç mekan (internal) ve dış mekan (external) olmak üzere iki tip hesaplama yapılabilmektedir. İç hacim hesaplamalarında, dış rüzgar hızının giriş açıklığının merkezinde olduğu varsayılmaktadır. CFD hesaplamalarında kullanılan açıklıktan giren hava miktarı ise, giriş açıklık alanı ve giriş açıklığının merkezinde kabul edilen hız verilerinin çarpılmasıyla elde edilir. Çalışmada farklı açıklık konumu için üretilen geometrik modeller Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3: Hesaplamalarda kullanılan geometrik modeller, a. Karşılıklı merkezde açıklık, b. Karşılıklı 80 cm şaşırtmalı-1 açıklık, c. Karşılıklı 160 cm şaşırtmalı-2 açıklık

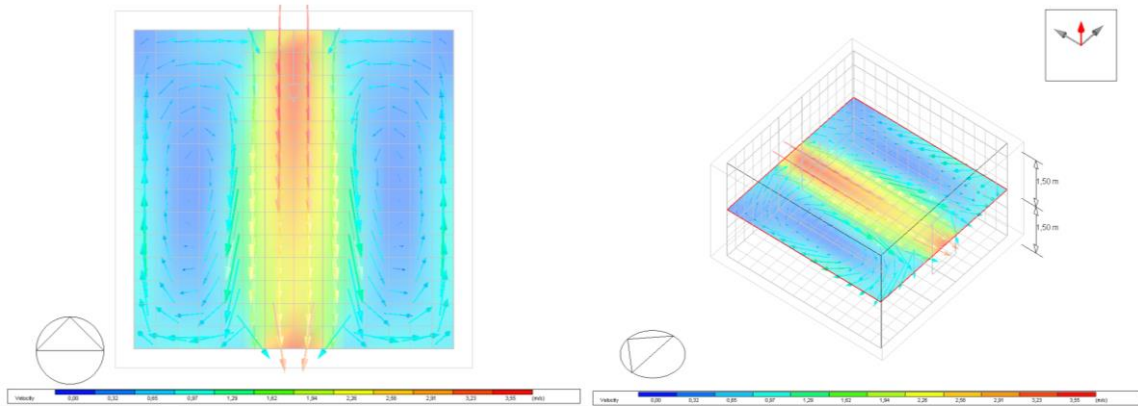
### 2.1.4. Simülasyon çıktılarının belirlenmesi

CFD simülasyonları sonucunda elde edilen, zeminden 1.5 m. yükseklikten geçen düzlem üzerinde giriş ve çıkış açıklıklarına bağlı olarak gerçekleşen rüzgar hızları doğal havalandırmanın etkinliğini

belirlemek üzere değerlendirilmiştir (Şekil 4). Hacimde oluşan iç hava hareketi hızları, kullanıcının durumunu etkilemekle birlikte iç hava hareketinin hızına bağlı olarak kullanıcı ve hacmin konfor ilişkisi aşağıdaki gibi ifade edilmiştir [3].

- <0.1 m/s havasız oda
- 0.1 ile 0.2 m/s arası fark edilmez
- 0.2 ile 0.5 m/s arası rahat
- 0.5 ile 1 m/s arası fark edilir
- 1 ile 1.5 m/s arası hava akımlı(cereyanlı)
- >1.5 m/s rahatsız edici

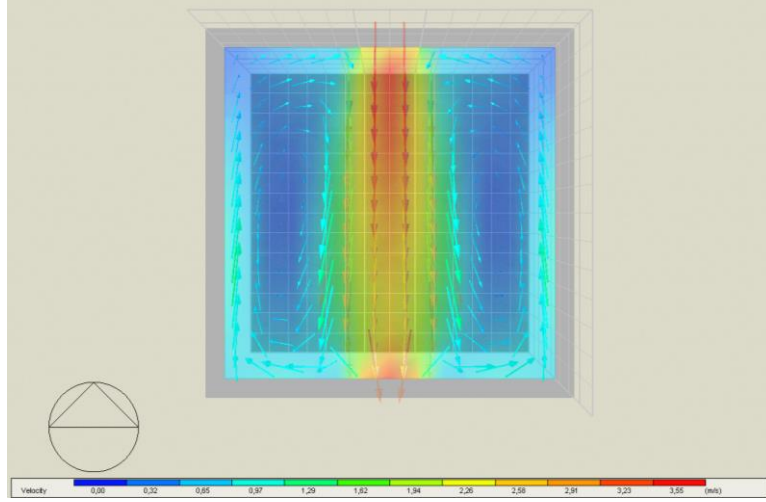
Hacimde hava hareketi hızının 2 m/s değerine çıkması, konfor açısından iç hava sıcaklığının çok yükseldiği durumlarda kabul edilebilmektedir [3]. Bu çalışmada, giriş ve çıkış açıklıklarının konumlarının belirlenmesi bir tasarım kararı olduğundan bu kararın sonuçlarının sıcak-nemli iklim bölgesinde nem düzeyini azaltmada ne kadar etkili olduğu araştırılmıştır. Ancak, rüzgar hızlarının nem değerleri üzerindeki etkisi çalışma kapsamında ele alınmamış, hava akımlı (cereyanlı) koşulların nem düzeyini düşüreceği kabulü ile sadece rüzgar hızları değerlendirilmiştir.



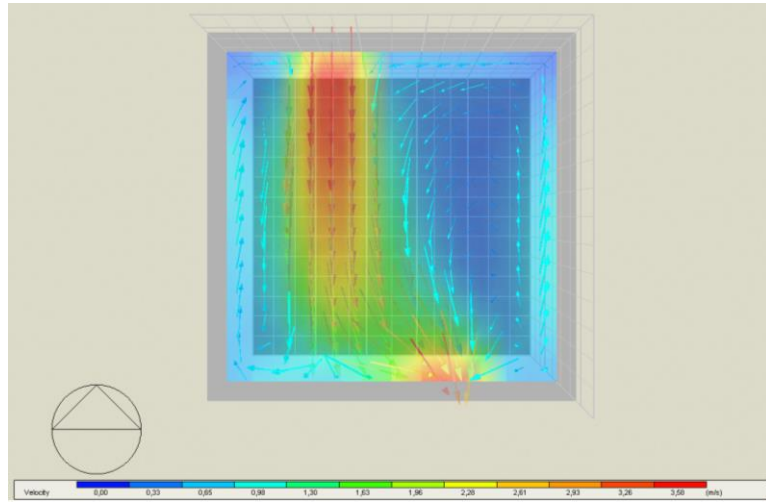
Şekil 4: Cfd hava hareketi ve hız verileri (zeminden 1.5 m. yükseklikte alınan CFD düzlemi)

## 2.2. Simülasyonların Yapılması

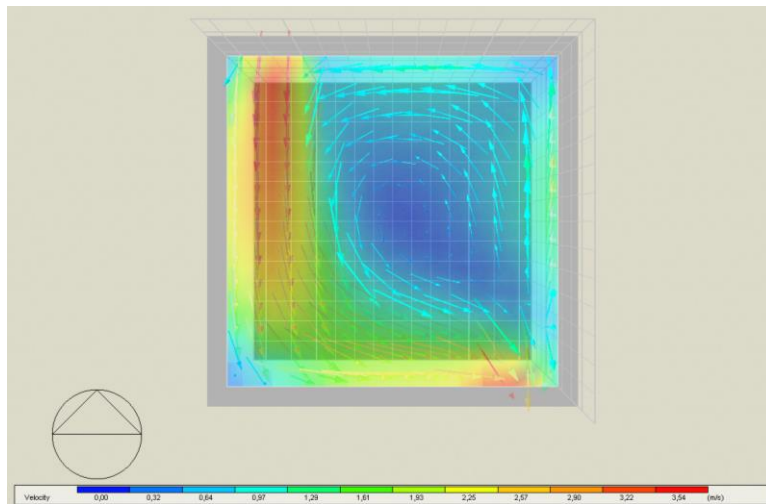
Hesaplamalarda ilk adımda, oluşturulan geometrik model yardımıyla önce ısı hesapları tamamlanmıştır. Bu hesaplamalar sonucu elde edilen sınır koşulları (Sıcaklık, yüzey sıcaklıkları, hava akışı miktarı) EnerjiPlus simülasyonlarından otomatik olarak CFD hesaplamalarına aktarılır. Yaygın olarak kullanılan CFD çözüm yöntemlerinden biri olan SIMPLER algoritması kapsamında geliştirilmiş olan CFD hesaplama motoru, türbülans hesaplamalarında da yaygın olarak kullanılan Standart  $k-\epsilon$  türbülans modelini kullanmaktadır. Sadece başlangıç ve/veya sınır koşullarının sağlanması gereken koşullarda birçok akış problem için makul derecede iyi sonuçlar sağlayabilen en basit ve en yaygın türbülans modelidir [2]. Yapılan CFD simülasyonları ile elde edilen sonuçlar, farklı doğal havalandırma modellerinde gerçekleşen rüzgar hareketi ve hızları Şekil 5,6 ve 7'de görülmektedir.



**Şekil 5:** Karşılıklı cephelerin merkezinde havalandırma modelinin hava hareketi ve hız değerleri



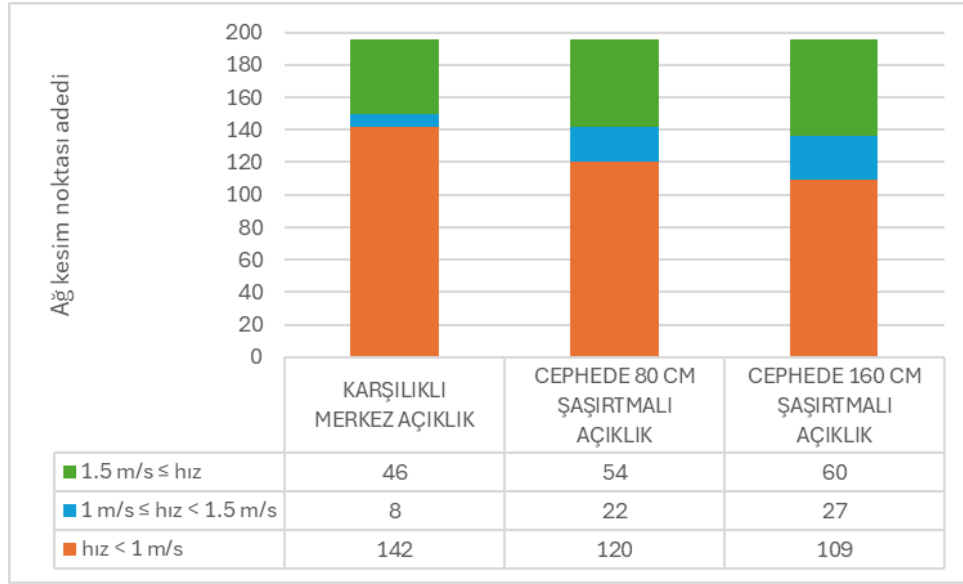
**Şekil 6:** Karşılıklı cephelerde 80 cm şaşırıtmalı-1 havalandırma modelinin hava hareketi ve hız değerleri



**Şekil 7:** Karşılıklı cephelerde 80 cm şaşırıtmalı-2 havalandırma modelinin hava hareketi ve hız değerleri

Çalışmada elde edilen sonuçlar farklı açıklık konumlandırılışına göre oluşan hava hızı değerleri esas alınarak değerlendirilmiştir. Değerlendirmede sıcak-nemli iklim bölgelerinde sıklıkla gerçekleşen yüksek nem değerlerini düşürebilmek amacıyla rahatsız etmeyen hava akımlı (cereyanlı) koşulların belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaca yönelik olarak; 1.5 m. düzleminde, 196 (14 x 14) ağ kesim noktasında oluşan 1 m/s altındaki, 1-1.5 m/s ve 1.5 m/s üzerinde olmak üzere konfor koşullarının tespiti için 3 aralıkta oluşan hız değerleri ve adetleri Çizelge 1’de gösterilmiştir.

**Çizelge 1:** Farklı doğal havalandırma modellerinde zeminden 1.5 m. yükseklikte 196 (14 x 14) ağ kesim noktasında oluşan hız değerleri ve adetleri



### 3. SONUÇLAR

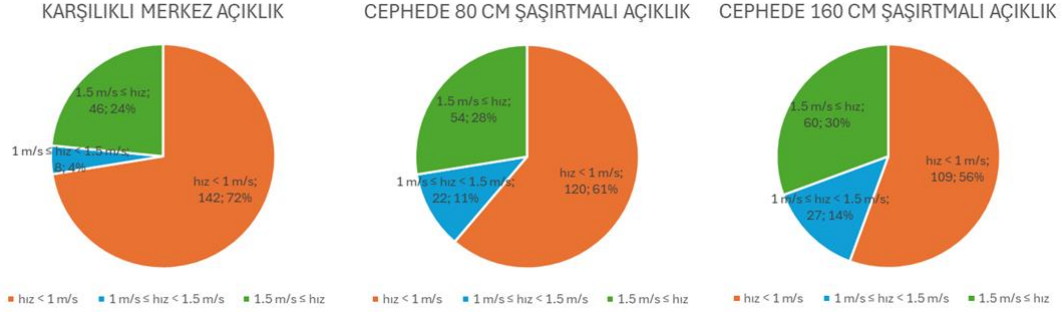
Özellikle sıcak nemli iklim bölgelerinde konforsuzluk yaratan yüksek nemliliği önlemenin en önemli yollarından biri doğal havalandırma [4]. Kullanıcı yoğunluğu ve pencere tipi değişkenlerinden daha etkili olan dış hava neminin, hacimdeki bağıl nem üzerindeki etkisi oldukça yüksektir. Dış hava neminin etkisi ile iç hava neminin değişmesi durumunda doğal havalandırma yapılan hacimlerin mekanik havalandırma yapılan hacimlere göre konfora etkisi daha yüksektir [5].

Sıcak – nemli iklim bölgesinde konfor koşullarının sağlanmasında en önemli girdilerden biri açıklıklardır. Hacimlerin giriş ve çıkış açıklıkları düzenlenirken, açıklıkların yönleri, birbirlerine göre konumları ve dış hava akımlarının yönü dikkate alındığında doğal havalandırma ile konforlu hacimler oluşması sağlanabilmektedir. Açıklıkların farklı konumlandırılması ve farklı dış hava akımı yönü ile iç mekanda sağlanan doğal havalandırma potansiyelleri değişmektedir. [6, 7, ve 8].

Bu çalışmada, zeminden 1.5 m. yükseklikten alınan CFD düzleminde farklı açıklık konumlarına sahip hacimlerde gerçekleşen doğal havalandırma potansiyeli incelenmiştir. Biri karşılıklı cephelerin merkezinde açıklıklar ve diğer ikisi karşılıklı cephelerde şaşırtmalı olmak üzere 3 doğal havalandırma modeli için simülasyon yapılmıştır. Sonuçların karşılaştırılabilmesi için X ve Y ekseninde oluşan grid sayıları eşitlenmiş olup bu noktadaki hava hızı verileri 196 adettir (14 x 14). Bu 3 doğal



havalandırma modelinde 196 adet hava hızı verisinin belli aralıklardaki adetleri ve yüzdeleri Şekil 8’de karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir.



**Şekil 8:** Farklı doğal havalandırma modellerinde zeminden 1.5 m. yükseklikte 196 (14 x 14) ağ kesim noktasında oluşan hız değerleri, adetleri ve yüzdeleri

- Açıklıklar karşılıklı cephelerin merkezinde olduğunda; akış hattı üzerinde 1.5 m/s nin üzerinde rüzgar hızları oluşmuş ve bu bölgede oluşan hız nedeniyle akış hattının her iki yanında kalan bölgelerde hava hareketlenmeye başlamış ve vorteksler oluşmuştur. Bu bölgelerde rüzgar hızlarının kabul edilebilir değerlerde olduğu görülmektedir. Bu seçenekte ölçüm yapılan noktaların % 72’sinde rüzgar hızları 0-1m/s, %4’ünde 1-1.5 m/s ve %24’ünde 1.5 m/s ve üzeri görülmektedir.

- Açıklıklar karşılıklı cephelerde 80 cm şaşırtmalı (1) olduğunda; hem giriş hem çıkış açıklığındaki rüzgar hızlarının konfor değerlerinin üzerine çıktığı, çıkış açıklığında bu değerlerin giriş açıklığına göre daha düşük olduğu görülmektedir. Akış hattındaki yüksek rüzgar hızları sayesinde akış hattı dışındaki alanda hava hareketinin yine kabul edilebilir değerler içinde olduğu saptanmıştır. Bu seçenekte de ölçüm yapılan noktaların % 61’inde rüzgar hızları 0-1m/s, %11’inde 1-1.5 m/s ve %28’inde 1.5 m/s ve üzeri görülmektedir.

- Açıklıklar karşılıklı cephelerde 160 cm şaşırtmalı (2) olduğunda; hem giriş hem çıkış açıklığındaki rüzgar hızlarının konfor değerlerinin üzerine çıktığı, çıkış açıklığında bu değerlerin giriş açıklığına göre daha düşük olduğu görülmektedir. Ancak karşılıklı cephelerde şaşırtmalı (1) durumuna göre rüzgar hızlarının daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Akış hattındaki yüksek rüzgar hızları sayesinde akış hattı dışındaki alanda hava hareketinin yine kabul edilebilir değerler içinde olduğu saptanmıştır. Bu seçenekte de ölçüm yapılan noktaların % 56’sında rüzgar hızları 0-1m/s, %14’ünde 1-1.5 m/s ve %30’unda 1.5 m/s ve üzerinde olduğu görülmektedir.

- Açıklıkların karşılıklı cephelerde 160 cm şaşırtmalı (2) olduğu seçenekte konforsuz alan oluşturacak türbülansın diğer seçeneklere göre daha az olduğu tespit edilmiştir. Açıklıklar karşılıklı cephelerin merkezinde olduğu seçenekte ise hız değerlerinin birbirinden daha uzak olduğu ve konforsuz alan oluşturacak türbülansın diğer seçeneklere göre daha çok olduğu tespit edilmiştir.

- Rahatsız etmeyen hava akımlı (cereyanlı) koşulun (1-1.5 m/s) en çok gerçekleştiği seçeneğin açıklıkların karşılıklı cephelerde 160 cm şaşırtmalı (2) seçenek olduğu görülmüştür.

Bu çalışma kapsamında; açıklık alanları aynı olan, karşılıklı cephelerde farklı konumlandırılmış durumlarına sahip giriş ve çıkış açıklıkları ile rüzgarın cepheye dik gelmesi halinde hacim içinde

oluşan rüzgar hızları değerleri hesaplanmış ve havalandırma etkinlikleri değerlendirilmiştir. Yapılan hesaplamalar; gelecekte yapılabilecek; farklı giriş ve çıkış açıklık konumları, farklı giriş ve çıkış açıklık alanları ve rüzgarın cepheye farklı açılarla gelebileceği çok sayıda koşulun değerlendirilmesi çalışmaları için bir ön değerlendirme niteliğindedir. İç ortam konfor koşullarının bütünleşik olarak değerlendirilmesi için gelecek çalışmalarda diğer iç iklim elemanlarının (iç hava nemi, iç hava sıcaklıkları, iç yüzey sıcaklıkları) da değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlarla gelecekte çok sayıda konfigürasyonu değerlendirmek ve sıcak-nemli iklim bölgelerinde nem düzeyini düşürecek havalandırma stratejileri belirlemek olanaklı olabilecektir.

## **KAYNAKLAR**

1. [https://www.designbuildersoftware.com/docs/designbuilder/DesignBuilder\\_CFD\\_DraftManual.pdf](https://www.designbuildersoftware.com/docs/designbuilder/DesignBuilder_CFD_DraftManual.pdf)
2. <https://climate.onebuilding.org/>
3. Szokolay, S. V. (2014). *Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design* (3rd ed.). New York: Routledge, Taylor and Francis Group.
4. Oral, K. G. ve Manioğlu, G. (2005). İklimle dengeli tasarım: Mardin, Antakya örnekleri, *Tasarım*, 157 , 136-142.
5. Vellei, M., Herrera, M., Fosas, D., & Natarajan, S. (2017). The influence of relative humidity on adaptive thermal comfort. *Building and Environment*, 124, 171-185.
6. Lechner, N. (2015). *Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Methods for Architects*
7. Watson, D. & Labs, K. (1993). *Climatic Building Design: Energy Efficient Building Principles and Practices*. New York: McGraw-Hill.
8. Arens, E. (1984). *Natural Ventilative Cooling*

# KENTSEL DOKUDA RÜZGÂR ENERJİSİ KULLANIMININ TASARIM PARAMETRELERİNE BAĞLI OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA; İSTANBUL ÖRNEĞİ

Ayşe Yeşilyurt<sup>1</sup>  
Gül Koçlar Oral<sup>2</sup>

<sup>1</sup>TC Rumeli Üniversitesi, Sanat Tasarım ve Mimarlık Fakültesi,  
Beyoğlu, İstanbul, 34445

<sup>2</sup>İTÜ Mimarlık Fakültesi, Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

## ÖZET

*Hızlı kentleşme, yoğun yapılaşma, gelişen teknoloji, kaliteli ve konforlu mekanlarda yaşama isteği enerji kullanımını arttırmış ve çevre sorunlarına neden olmuştur. Binalar ve kentsel alanlar toplam enerji tüketiminin önemli bir kısmını oluşturduğu için binalarda ve kentsel alanlarda enerji verimli tasarım çözümlerine öncelik verilmelidir. Binalarda enerji verimliliğini sağlamanın en etkili yollarından biri de ülkemizde binalardaki kullanımı sınırlı olan ancak önemli bir potansiyeli olan rüzgar enerjisini kullanmaktır. Bu bağlamda bildiride, kentsel alanlarda çatıya monte rüzgar türbini kullanımının; kentsel doku formu, bina yüksekliği, bina yüksekliği/cadde genişliği oranı (H/W oranı), kentsel doku yönelimi etkilerini analiz etmek amacıyla gerçekleştirilen parametrik hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) çalışmasının sonuçları irdelenmiştir. Bina monte rüzgar türbini kurulumu için ele alınan referans binanın çatı seviyesindeki rüzgar hızlarının değerlendirildiği çalışma kentsel dönüşümün çok hızlı olduğu İstanbul için yapılmıştır. Farklı parametrelere bağlı geliştirilen alternatifler için oluşturulan modeller ENVI-met programında yapılmış olup, her bir alternatif için rüzgar hızı değerleri parametreler bazında incelenmiştir.*

*Anahtar sözcükler: Binalarda rüzgar enerjisi, Kentsel alanlarda rüzgar, Yenilenebilir enerji.*

## ABSTRACT

*Rapid urbanization, dense construction, developing technology, and the desire to live in quality and comfortable spaces have increased energy use and caused environmental problems. Since buildings and urban areas account for a significant portion of total energy consumption, energy efficient design solutions in buildings and urban areas should be prioritized. One of the most effective ways to ensure energy efficiency in buildings is to use wind energy, which has limited use in buildings in our country but has a significant potential. In this context, the paper states that the use of roof-mounted wind turbines in urban areas; The results of the parametric computational fluid dynamics (CFD) study carried out to analyze the effects of urban texture form, building height, building height/street width ratio (H/W ratio), and urban texture orientation were examined. The study, which evaluated the wind speeds at the roof level of the reference building considered for building-mounted wind turbine installation, was conducted in Istanbul, where urban transformation is very rapid. The models created for the alternatives developed based on different parameters were made in the ENVI-met program, and the wind speed values of each alternative were examined on the basis of parameters.*

*Key words: Wind energy in buildings, Wind in urban areas, Renewable energy.*

<sup>1</sup> e-posta adresi: ayse.yesilyurt@rumeli.edu.tr.

<sup>2</sup> e-posta adresi: kgul@itu.edu.tr.

## 1.GİRİŞ

Endüstrileşme ve kentleşmenin sonucunda binalarda iklimsel ve görsel konfor koşullarının sağlanmasına yönelik olarak ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma enerjisi gereksiniminin artması nedeniyle enerji verimliliği yaklaşımı benimsenmiştir. Enerji kaynaklarının kıt ve tükenbilir olmasının yanında enerji ihtiyacının da artması ile binalarda alternatif enerji kaynaklarını kullanmak zorunlu hale gelmiştir. Ayrıca, fosil yakıtlı enerji kaynaklarının sosyal ve ekonomik etkilerinin yanında çevreye verdiği zararlar gelecek nesillerdeki tüm canlıların yaşamını tehlikeye atmaktadır.

Küresel enerji tüketiminin büyük çoğunluğunun binalar tarafından harcandığı bir dünyada binaların kendi kendine yetebilen binalar haline gelmesi ve ihtiyacı olan enerjiyi yenilenebilir, temiz ve doğal kaynaklarla üretebilmesi kaçınılmaz bir gerekliliktir.

En yüksek ve en hızlı büyüme oranına sahip yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgar enerjisi dünyadaki en verimli ve uygulanabilir doğal enerji kaynağı kabul edilmesine rağmen Türkiye’de binalarda yeterince kullanılmamaktadır [1, 2]. Türkiye’de binalarda rüzgar türbini kullanımının yaygınlaşması ekonomik açıdan, enerji verimliliğinin sağlanması ve iklim değişikliğinin önlenmesi açısından önemli bir adımdır. Büyük rüzgar santrallerinin aksine özellikle binalara monte edilen küçük ölçekli bina monte rüzgar türbinleri enerjinin üretildiği yerde kullanılması, depolama ve taşıma maliyetlerinin de olmaması nedeniyle büyük bir avantajdır. Kentsel alanlarda çatıya monte rüzgar türbinleri, enerji iletim maliyetlerini azaltması, binanın yüksekliğini türbin kulesi olarak kullanması ve doğru yerleştirildiğinde etkin rüzgar artışından faydalanması nedeniyle giderek daha fazla ilgi görmektedir [3]. Rüzgardan üretilen enerji teorik olarak rüzgar hızının küp değeri ile ( $V^3$ ) orantılı olduğundan, rüzgar hızındaki küçük bir artış rüzgar enerjisinde büyük farklılıklar yaratmaktadır [4]. Bu nedenle kentsel alanlara çatı monte rüzgar türbini yerleştirirken bölgedeki rüzgar kaynağının iyi kullanılması, türbinin rüzgarın en verimli olduğu yere yerleştirilmesi ve binanın aerodinamiğinin de rüzgarın çatı yönüne doğru akmasını sağlayacak şekilde tasarlanması gerekmektedir.

Tüm bu değerlendirmeler sonucunda bu bildiriye farklı kentsel doku parametrelerine bağlı olarak binalarda rüzgar enerjisi kullanımını araştırmaya yönelik olarak çatıya monte rüzgar türbinlerinin kentsel alanlarda kullanımının verimliliğini değerlendirmek amaçlanmaktadır. Çalışmada, konfor koşulları açısından rüzgarın istendiği ılımlı nemli iklim bölgesi ele alınmıştır. İstanbul için çatı monte rüzgar türbinlerinin verimliliğinin değerlendirildiği çalışmada ele alınan kentsel doku alternatifleri farklı tasarım parametrelerinin değiştirilmesiyle oluşturulmuştur. Binaya ait farklı tasarım parametrelerinin değiştirilerek oluşturulduğu kentsel doku alternatiflerinde rüzgar enerjisine etki eden parametrelerin belirlenmesi için kapsamlı bir analiz yapılmıştır. Rüzgar enerjisi ile yerleşme dokusu ilişkisine ait literatürde kısıtlı örnek bulunması nedeniyle çalışmada kentsel doku parametrelerinin kentsel alanlardaki çatı seviyesindeki rüzgar hızına etkisinin incelenmesi öncelikle ele alınmıştır.

## 2. METODOLOJİ

Çalışmada, İstanbul ilinde kentsel doku formu, bina yüksekliği, H/W oranı ve doku yönelimi değiştirilerek oluşturulan farklı kentsel doku alternatiflerindeki binalarda ele alınan referans

binanın çatı seviyesindeki rüzgar hızları değerlendirilmiştir. Oluşturulan kentsel doku alternatifleri Türkiye'de yaygın olan konut yerleşimlerden yola çıkılarak oluşturulmuştur. 6 farklı konut tipine ait oluşturulan 128 kentsel doku alternatifine ilişkin kentsel doku formu, bina yüksekliği, H/W oranı, kentsel doku yönelimi etkilerini analiz etmek amacıyla gerçekleştirilen parametrik hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) çalışması ENVI-met programında gerçekleştirilmiştir. Kentsel dönüşümün çok hızlı olduğu ve Türkiye'de nüfus yoğunluğunun en fazla olduğu il olan İstanbul için yapılan simülasyonlar sonucunda alternatiflere ilişkin 21 Haziran gününe ait referans binanın çatı seviyesindeki (çatı seviyesinden 6 m. Yükseklikteki) ortalama rüzgar hızı değerleri belirlenmiştir.

## 2.1. Kentsel Doku Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi

Çalışmada değerlendirme yapmak üzere literatürde yapılan irdeleme sonucunda rüzgar enerjisini en çok etkileyen ve erken tasarım kararlarında etkisi olabilecek parametreler seçilmiştir. Binaya ilişkin parametreler olarak ele alınan; binanın formu, yönü, yüksekliği, binaların birbirine göre konumu rüzgar akımlarını alan ve yönlendiren özellikler olduğu için rüzgardan yararlanmada etkili rol oynamaktadır [5]. Bu bağlamda çalışmada seçilen kentsel doku bina formu, bina yüksekliği, H/W oranı ve kentsel doku yönelimi parametreleri kentsel alanlarda mikro iklim üzerinde rüzgar, güneş ve hava nemi üzerinde oldukça etkili olduğundan rüzgar enerjisini değerlendirmede de önemli etkenler olarak görülmektedir.

### 2.1.1. Kentsel dokuda bina formlarının belirlenmesi




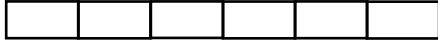

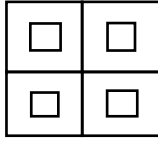
Çalışmada ilk parametre olarak dış mekan termal konforunu etkileyen önemli parametrelerden biri olan kentsel dokuda konutlar için bina formları seçilmiştir. Çalışmada ele alınan bina formları, kare, dikdörtgen ve avlulu yapılar olup, aşağıda açıklanmıştır:

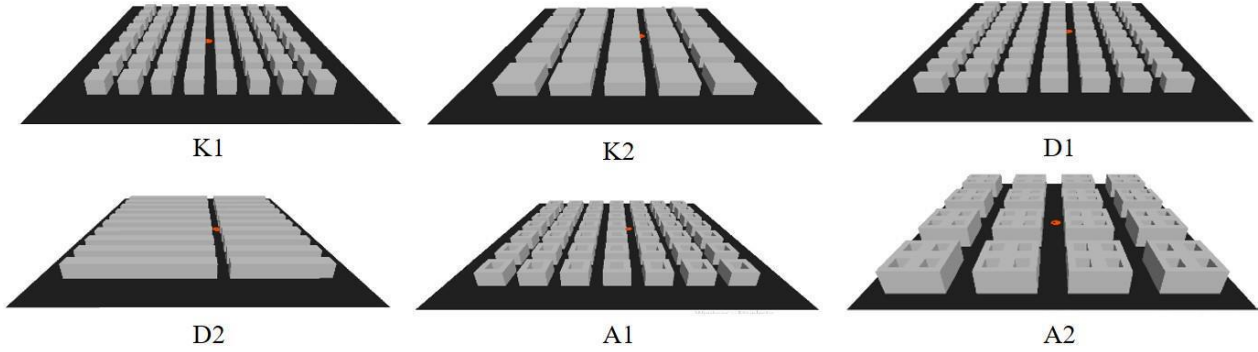
- K1: Katta tek dairesel konut blokları (Kare)
- K2: Katta dört dairesel konut blokları (Kare)
- D1: Katta tek dairesel konut blokları (Dikdörtgen)
- D2: Bitişik nizamlı sıra bloklar (Dikdörtgen)
- A1: Avlulu tekil bloklar (Avlulu)
- A2: Avlulu dörtlü bloklar (Avlulu)

Belirlenen 6 adet bina formu farklı parametreler ile birleştirilerek kentsel doku alternatifleri oluşturulmuştur. **Çizelge 1**'de belirlenen kentsel doku bina formlarına ilişkin boyutlara yer verilmiştir.

Çalışmada oluşturulan model kapsamında model alanına ilişkin gridler 4\*4 m aralıklarla ENVI-met programında doku formları 4 metrenin katları olacak şekilde oluşturulmuştur. Çalışmada iki adet kare planlı, iki adet dikdörtgen planlı, iki adet de avlulu planlı doku formu olmak üzere belirlenen altı adet doku formu **Şekil 1**'de gösterilmektedir.

**Çizelge 1:** Kentsel doku bina formlarına ilişkin boyutlar.

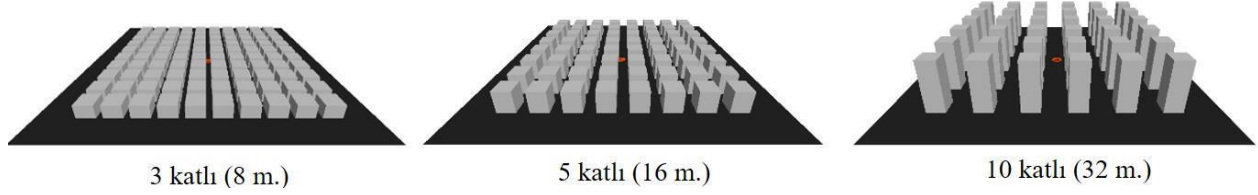
Kentsel Doku Bina Formu	Derinlik (m.)	Genişlik (m.)	Kentsel Doku Bina Formu
K1	12	12	
K2	24	24	
D1	8	16	
D2	8	96	
A1	16	16	
A2	32	32	



**Şekil 1:** Çalışmada ele alınan kentsel dokuda bina formları.

### 2.1.2. Bina yüksekliklerinin belirlenmesi

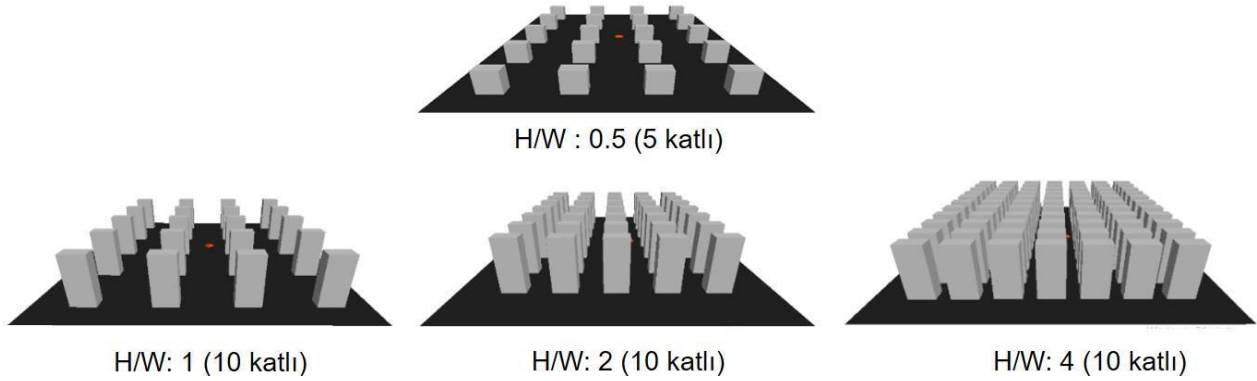
Çalışmada Türkiye’de yer alan bina yükseklikleri değerlendirilerek, 3 farklı bina yüksekliği belirlenmiştir. Türkiye’deki binalara örnek olması açısından alçak katlı binalar için 3 katlı (8 m. Yükseklik), orta yükseklikte binalar için 5 katlı (16 m. Yükseklik), yüksek katlı binalar için de 10 katlı (32 m. Yükseklik) bina yükseklikleri ele alınmıştır. **Şekil 2’**de 3 farklı kat yüksekliğine sahip K1 dokusuna ilişkin kat yükseklikleri gösterilmiştir.



**Şekil 2:** Çalışmada ele alınan kat yükseklikleri; 3 katlı=8 m., 5 katlı= 16 m., 10 katlı=32 m. ( K1 dokusuna ait alternatifler)

### 2.1.3. H/W oranlarının belirlenmesi

Çalışmada belirleyici parametre olarak bina yüksekliğinin cadde genişliğine oranı olarak bilinen H/W oranı değerleri için Türkiye’deki mevcut cadde sokak genişlikleri dikkate alınarak 3 katlı (8 m.) ve 5 katlı (16 m.) binalar için H/W:0.5, H/W: 1, H/W:2 oranı, 10 katlı (32 m.) binalar için de H/W: 1, H/W:2, H/W:4 oranı uygulanmıştır. Çalışmada ele alınan H/W oranları Şekil 3’de verilmiştir.






**Şekil 3:** Çalışmada ele alınan Bina Yüksekliği/ Cadde Genişliği (H/W) oranları.

### 2.1.4. Kentsel doku yönelimlerinin belirlenmesi

Mikro iklim üzerindeki önemli etkileri nedeni ile çalışmada bir diğer belirleyici parametre olarak binaların yönelimi seçilmiştir. Oluşturulan kentsel doku alternatifleri 45 derecelik artışlarla yönlendirilmiş ve çalışmada kare planlı K1, K2, A1, A2 doku formları için 0° ve 45° yönelimleri, dikdörtgen planlı D1 ve D2 doku formları için de 0°, 45°, 90° ve 135° yönelimleri belirlenmiştir.

Şekil 4’de 10 katlı H/W:1 oranına sahip alternatiflere ilişkin modeller kentsel doku yönelimi, cadde, hakim rüzgar yönü ve referans bina ilişkisini göstermektedir. Her doku için kentsel dokunun orta noktalarında bir bina referans bina olarak seçilmiş, referans binalar Şekil 4’de gösterilmiştir.

	0° Doku Yönelimi	45° Doku Yönelimi	90° Doku Yönelimi	135° Doku Yönelimi
Kare Formlu Alternatifler				
	K1 BİNA FORMLU ALTERNATİFLER			
Dikdörtgen Formlu Alternatifler				
	D1 BİNA FORMLU ALTERNATİFLER			
Avlulu Formlu Alternatifler				
	A1 BİNA FORMLU ALTERNATİFLER			
A2 BİNA FORMLU ALTERNATİFLER				

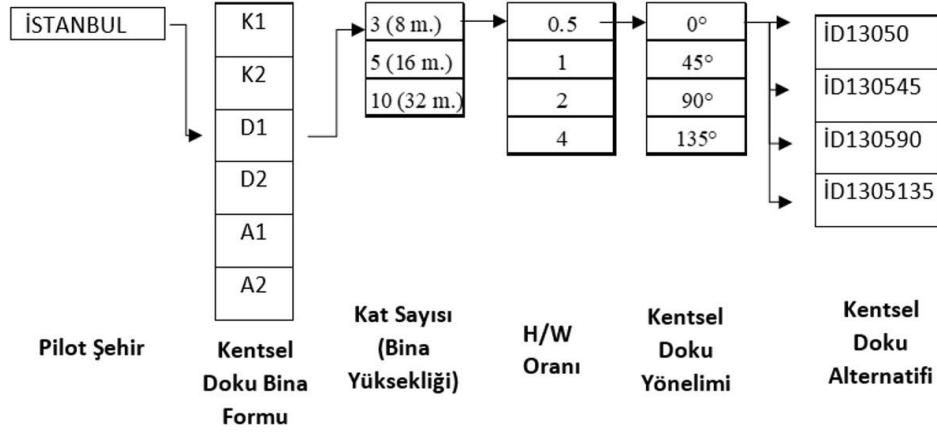
-  Referans Bina
-  Referans Cadde
-  Hakim Rüzgar Yönü

Şekil 4: Alternatiflerin yönelimi (5 katlı H/W:1 oranlı).



## 2.2. Alternatiflerin oluşturulması

Kentsel doku formu (kare, dikdörtgen ve avlulu olmak üzere 6 adet form), kat sayısı (3, 5, 10), H/W oranı (0.50, 1.00, 2.00, 4.00) ve kentsel doku yönelimine (0°, 45°, 90°, 135°) bağlı geliştirilen alternatif sayısı 128 adettir. Alternatiflere ait kodlama sistemi **Şekil 5**'de açıklanmıştır. Kodlama sisteminde sırasıyla, **Şekil 5**'de görüldüğü gibi çalışmanın yapıldığı şehir olan İstanbul'un baş harfi, kentsel doku bina formunun kısaltılması, kat sayısı, H/W oranı, kentsel doku yönelimi açısına yer verilmiştir.



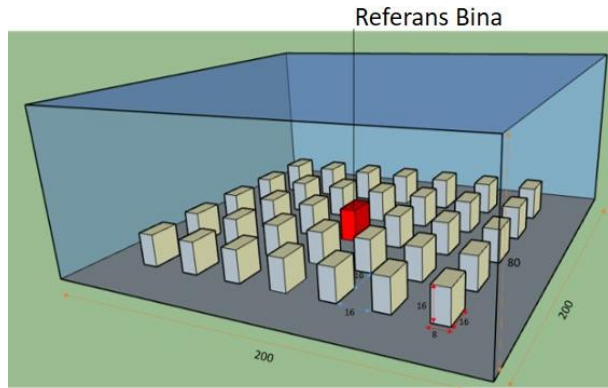
Şekil 5: Alternatiflerin kodlanması

## 2.3. Oluşturulan alternatiflere ilişkin veriler

Oluşturulan alternatiflere ilişkin veriler; model alanının belirlenmesi, meteorolojik verilerin belirlenmesi, alternatiflere ait modellerin ENVI-met programında oluşturulması başlıklarında açıklanmıştır.

### 2.3.1. Model alanının belirlenmesi

Rüzgar enerjisinin değerlendirilmesine yönelik yapılacak olan çalışma 200 m.\*200 m\*80 m'lik bir alan içinde tasarlanan konut binaları için geliştirilmiştir. ENVI-met programında 50\*50\*20 adet grid ile oluşturulan geometrik modele ait gridlerin ölçüleri 4m\*4m\*4m (x\*y\*z) olarak belirlenmiştir. Oluşturulan model alanı **Şekil 6**'da görülmektedir.



Şekil 6: Model alanı örneği (İD1510 alternatifine ait) [6].

### 2.3.2. Meteorolojik verilerin belirlenmesi

Çalışma kapsamında İstanbul için ele alınan dış hava sıcaklığı, güneş ışıınımı, dış hava nemliliği ve rüzgar hızından oluşan dış iklim verileri yaz başlangıç günü 21 haziran günü için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) alınmış ve ENVI-met programına girilmiştir. MGM'den alınan sonuçlara göre İstanbul için en düşük sıcaklık 12.8 °C, en yüksek sıcaklık 25 °C, ortalama nem % 72 olarak belirlenmiş ve ENVI-met programına manuel olarak girilmiştir.

### 2.3.3. Alternatiflere ait modellerin ENVI-met programında oluşturulması

ENVI-met simülasyonları, karmaşık ortamlarda rüzgar akışlarını içeren sorunları analiz etmek ve çözmek için hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) kullanır [7]. ENVI-met programında tanımlanan ve modellenen alternatifler için hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanılarak yapılmış olan simülasyon çalışmasında yapılan kabuller İstanbul için **Çizelge 2**'de listelenmektedir.

**Çizelge 2** : İstanbul için çalışma kapsamında yapılan kabuller

Model alanı	
Ana model alanı	200*200 m.
Grid ölçüleri	dx=4; dy=4; dz=4
Grid sayıları	50*50*20
Yapı Materyalleri	
Duvar Malzemeleri	0,03 m çimento sıva + 0,05 m ekstrüde polistren + 0,2 m gazbeton blok + 0,02 m alçı sıva
Çatı Malzemeleri	Çakıl + çatı keçesi + 0,05 m ekspande polistren + 0,04 m beton + 0,14 m betonarme + 0,02 m alçı sıva
Sokak Malzemeleri	Kumlu toprak, Yol: Asfalt
Konum	
Boylam (°)	41.18
Enlem (°)	28.20
Çalışmanın Başlama Zamanı ve Süresi	
Simülasyon Günü	21.06.2018
Başlangıç Saati	06:00
Toplam Simülasyon Süresi	24 h.
50 m. yükseklikte rüzgar hızı (m/s)	6.8 m/s
10 m. yükseklikte rüzgar hızı (m/s)	4.63 m/s
Pürüzlülük	0.1
Rüzgar Yönü (0°= Kuzey, 180°= Güney)	45° (KD)

## 3. BULGULAR

Kentsel alanlarda rüzgar türbini kullanımının değerlendirildiği çalışmada oluşturulan kentsel doku alternatiflerine ait rüzgar hızı dağılımları incelenmiştir. İstanbul için yapılan simülasyonlar sonucunda alternatiflere ilişkin 21 Haziran gününe ait referans binanın çatı seviyesinde türbin monte yüksekliğinde (çatıdan +6 m. Yükseklikte) ortalama rüzgar hızı değerleri belirlenmiş **Şekil 7**'deki grafiklerde gösterilmiştir. Değerlendirilen tüm alternatiflerde en yüksek rüzgar hızı

değerlerine çatı seviyesinde ulaşıldığı için çalışmada çatı monte rüzgar türbini kullanılması önerilmektedir. Bu çalışmada çatı monte yatay eksenli bir rüzgar türbini kullanıldığı varsayılmıştır. İstanbul için 4 farklı parametreye bağlı oluşturulan 128 adet alternatifte referans binalar rüzgar hızı ve rüzgar akışı açısından değerlendirilmiştir.

**Şekil 7**'deki grafiklerde verilen İstanbul için oluşturulan 128 alternatif için çatı seviyesindeki rüzgar hızı değerleri incelendiğinde kat yüksekliği arttıkça rüzgar hızı değerlerinin arttığı, 10 katlı alternatiflerin 3 ve 5 katlı alternatiflere göre daha yüksek rüzgar hızına sahip olduğu görülmektedir.

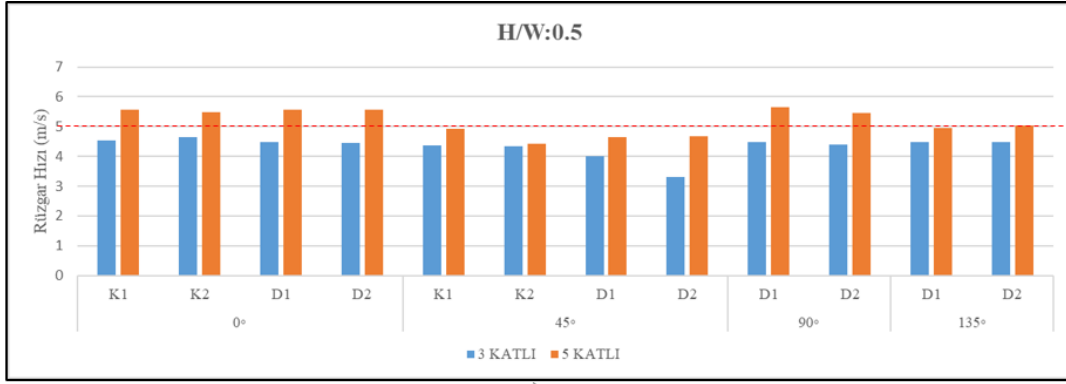
İstanbul için oluşturulan toplam 128 alternatiften 55 alternatifte çatıdaki ortalama rüzgar hızı seviyesi kentsel alanlarda rüzgar türbini kurulumu için gerekli olan 5 m/s değerini geçmektedir. Kentsel doku formu alternatifleri çerçevesinde İstanbul ili için en yüksek rüzgar hızı değerine sahip alternatif, D2 doku formu, 10 katlı H/W:1 oranına ve 0° yönelime sahip İD21010 alternatifidir. İD21010 alternatifinin çatıdaki ortalama rüzgar hızı 7.44 m/s olarak elde edilmiştir. Referans binanın çatı seviyesindeki rüzgar hızları arasında değerlendirme yapıldığında en yüksek rüzgar hızı değerine sahip alternatif İD21010 alternatifidir. İD21010 alternatifine ait rüzgar hızı 7.44 m/s olarak belirlenirken, parametrelere bağlı referans binanın çatı seviyesinde rüzgar hızındaki değişim aşağıda açıklanmaktadır.

### **Yönelim**

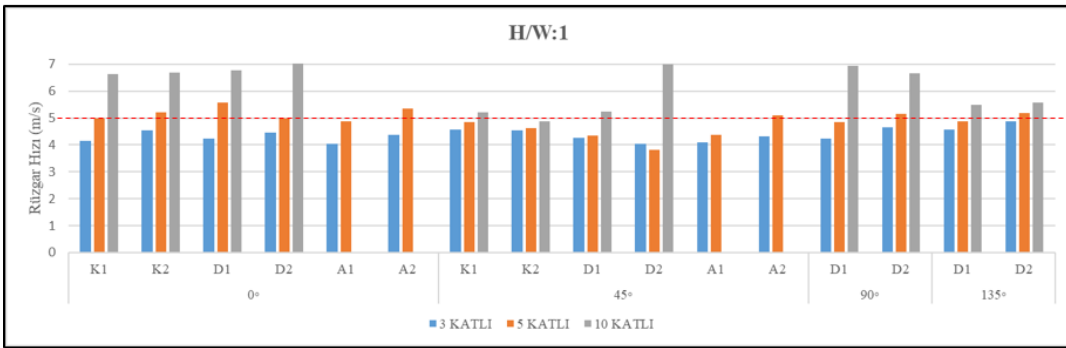
128 farklı alternatif için yapılan rüzgar hızı simülasyonları ve değerlendirmeleri sonucunda; İstanbul için belirlenen hakim rüzgar yönü (45 °) ile 45° açı oluşturan 0° ve 90° yönelime sahip kentsel doku alternatifleri en yüksek rüzgar hızı değerine sahip alternatifler olarak belirlenmiştir. 0° yönelime sahip 46 alternatiften 24 alternatifte, 45° yönelime sahip 46 alternatiften 12 alternatifte, 90° yönelime sahip 18 alternatiften 10 alternatifte, 135° yönelime sahip 18 alternatiften 8 alternatifte referans binanın çatı seviyesindeki rüzgar hızı 5 m/s değerini geçmektedir. Alternatif sayısı açısından değerlendirildiğinde 0° ve 90° yönelimli alternatifler sayısal olarak 45° ve 135° yönelimli alternatiflerden fazla bulunmuştur.

İstanbul'a ait alternatifler arasında referans binanın çatı seviyesinde yapılan değerlendirmelerde 0° ve 90° kentsel doku yönelimine sahip alternatifler, hakim rüzgara paralel olan 45° ve 135° yönelime sahip alternatiflerden yüksek rüzgar hızına sahip olarak belirlenmiştir. **Şekil 8**'de görüldüğü gibi rüzgar hızı değerleri açısından değerlendirilme yapıldığında da en yüksek rüzgar hızına sahip alternatifler 0° yönelime sahip alternatifler olarak bulunmuştur.

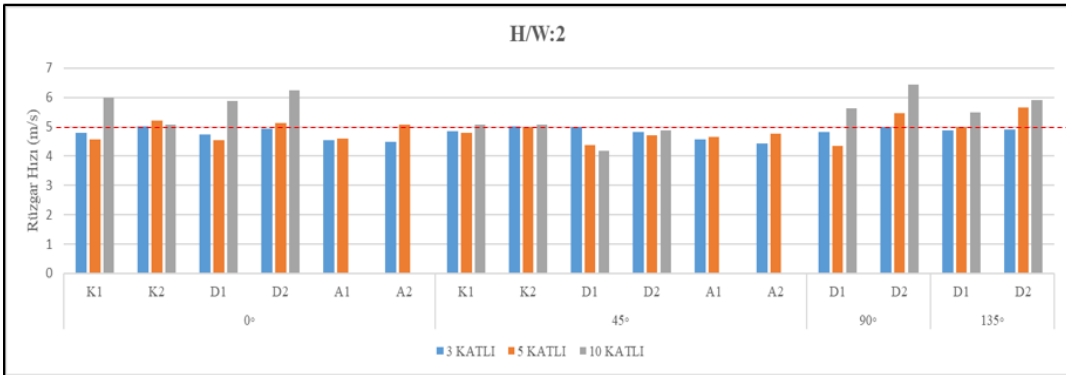
En düşük rüzgar hızına sahip alternatifler genellikle hakim rüzgara paralel olan 45° yönelime sahip alternatiflerdir.



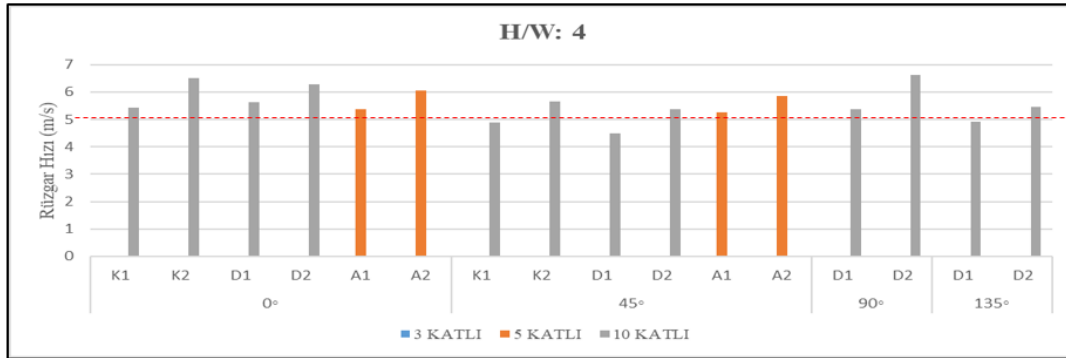
a)



b)

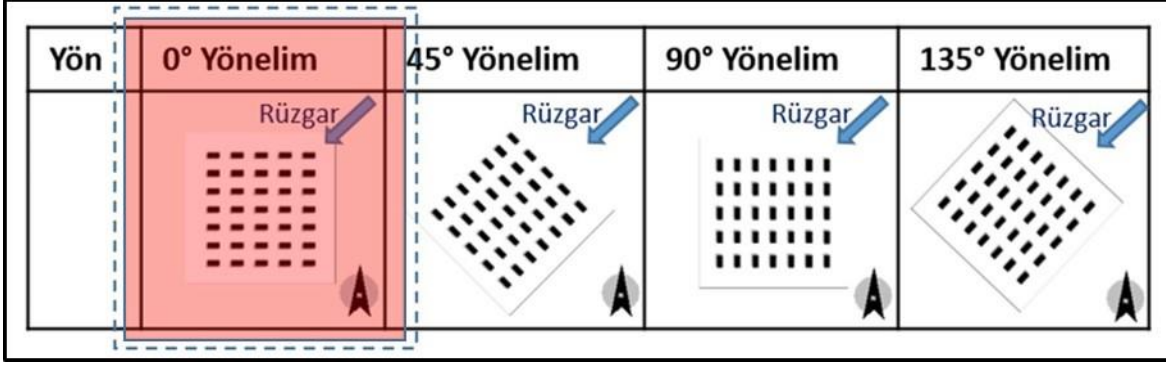


c)



d)

Şekil 7: İstanbul için oluşturulan alternatiflere ilişkin rüzgar hızı değerleri (a) H/W:0.5, (b) H/W:1, (c) H/W:2, (d) H/W:4.

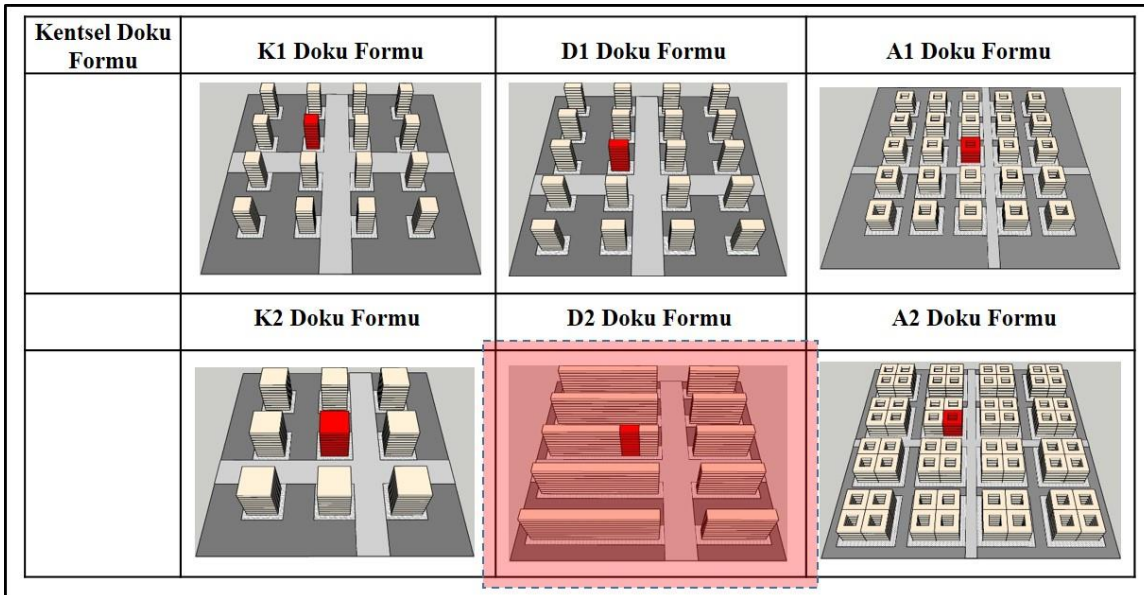


**Şekil 8:** İstanbul için referans binanın çatı seviyesinde ortalama rüzgar hızı değerine göre yapılan değerlendirme sonucuna göre en yüksek rüzgar hızı değerine sahip yönelim.

### Kentsel doku formu

İstanbul için oluşturulan alternatifler arasında yapılan değerlendirmeler sonucunda **Şekil 9**'da gösterildiği gibi D2 doku formu en yüksek rüzgar hızı değerine sahip doku formu olarak belirlenmiştir. Tüm dokular arasında referans binanın çatı seviyesinde rüzgar hızı değerlendirmesi yapıldığında kompakt forma sahip D2 dokusunun D1 dokusundan, K2 dokusunun K1 dokusundan, A2 dokusunun da A1 dokusundan daha yüksek rüzgar hızı değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

İstanbul için yapılan değerlendirmede; kompakt forma sahip bina formları ile oluşturulan alternatiflere (D2, K2 ve A2 doku formu) ait rüzgar hızı değerleri, tekil yapılar ile oluşturulan alternatiflerdeki (D1, K1 ve A1 doku formu), rüzgar hızı değerlerinden daha yüksek elde edilmiştir. D2 doku formu ile sıra evler oluşturulduğu için dokuya gelen rüzgar binalara çarpıp, binaların çatısına doğru yükselmektedir. Bu nedenle çatı seviyesinde en yüksek rüzgar hızına sahip alternatifler D2 doku formu alternatiflerdir.

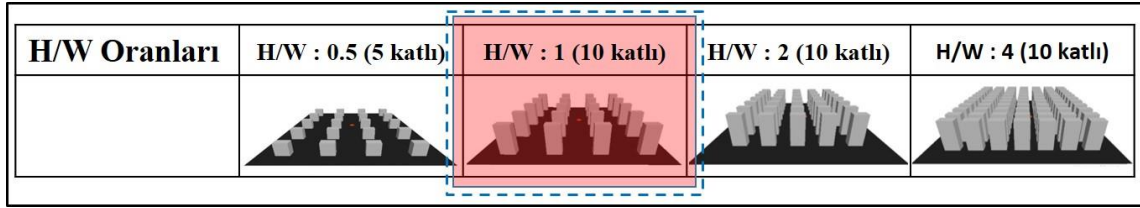


**Şekil 9:** İstanbul için referans binanın çatı seviyesinde ortalama rüzgar hızı değerine göre yapılan değerlendirme sonucuna göre en yüksek rüzgar hızı değerine sahip alternatiflere ait bina formu.

## H/W oranı

Oluşturulan 128 adet alternatif için belirlenen 4 farklı H/W oranı (0.5, 1, 2, 4) arasında yapılan değerlendirmeler sonucunda; **Şekil 10**'da gösterildiği gibi; İstanbul için en yüksek rüzgar hızı değerine sahip alternatiflere ait H/W oranı H/W:1 olarak belirlenmiştir. Referans binanın çatı seviyesinde rüzgar hızı 5 m/s değerini geçen alternatif sayısı bakımından değerlendirildiğinde rüzgar hızı değerleri bakımından H/W:1 oranına sahip alternatiflere ait rüzgar hızı değerleri diğer alternatiflerdeki rüzgar hızlarından yüksek elde edilmiştir. İstanbul için en yüksek rüzgar hızına sahip alternatife İD21010 alternatifinin H/W oranı da H/W oranı 1 olarak belirlenmiştir.

H/W oranları değerlendirilmesi çerçevesinde, K1, K2, D1 ve D2 10 kat yüksekliğine sahip alternatifler arasında en yüksek rüzgar hızı değerine sahip alternatifler İK11010, İK21010, İD11010, İD21010 alternatiflerine ait H/W oranı 1 olarak elde edilmiştir.

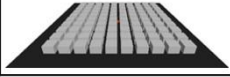




**Şekil 10:** İstanbul için referans binanın çatı seviyesinde ortalama rüzgar hızı değerine göre yapılan değerlendirme sonucuna göre en yüksek rüzgar hızı değerine sahip alternatiflere ait H/W oranı.

## Kat sayısı

Alternatifler arasında kat sayıları bakımından karşılaştırma yapıldığında en yüksek rüzgar hızı değerine sahip alternatifler 10 katlı alternatiflerdir. Genellikle kat yüksekliği arttıkça çatı seviyesinde rüzgar hızı da artmaktadır. **Şekil 11**'de görüldüğü gibi, 3 katlı alternatiflerde en yüksek rüzgar hızına sahip alternatife (İK2320 alternatifi) ait rüzgar hızı 5.03 m/s olarak, 5 katlılarda en yüksek rüzgar hızına sahip alternatife (İA2540 alternatifi) ait rüzgar hızı 6.05 m/s olarak, 10 katlılarda en yüksek rüzgar hızına sahip alternatife ait (İD21010 alternatifi) rüzgar hızı 7.44 m/s olarak elde edilmiştir. 3 katlı alternatiflere ait çatı seviyesinde maksimum rüzgar hızı ile 5 katlı alternatiflere ait maksimum rüzgar hızı arasında %20 oranında artış sağlanırken, 3 katlı alternatiflere ait çatı seviyesinde maksimum rüzgar hızı ile 10 katlı alternatiflere ait maksimum rüzgar hızı arasında %47 oranında bir artış sağlanmaktadır.

Kat yüksekliğinin değerlendirilmesi çerçevesinde, en yüksek rüzgar hızı değerine sahip 10 katlı alternatifler ele alındığında; K1 doku formu İK11010 (6.62 m/s) alternatifi, K2 doku formu İK21010 (6.68 m/s) alternatifi, D1 doku formu İD11010 alternatifi (6.77 m/s), D2 doku formu İD21010 (7.44 m/s) alternatifleridir. 5 katlı alternatifler ele alındığında; A1 doku formu A1540 (5.37 m/s) ve A2 doku formu A2540 (6.05 m/s) alternatifi en yüksek rüzgar hızları gerçekleştirmiştir.

Kat Sayısı	3 kathi	5 kathi	10 kathi
			

**Şekil 11** : İstanbul için referans binanın çatı seviyesinde ortalama rüzgar hızı değerine göre yapılan değerlendirme sonucuna göre en yüksek rüzgar hızı değerine sahip alternatiflere ait kat sayısı.

#### 4. SONUÇLAR

Bulgulara bağlı olarak yapılan değerlendirme sonucunda, referans binanın çatı seviyesindeki rüzgar hızları açısından ulaşılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

Kentsel doku yönelimi hakim rüzgar yönü ile 45° açı oluşturan alternatifler türbin kurulumu için en yüksek rüzgar hızı değerine sahip alternatiflerdir (İstanbul ili için 0° ve 90° yönelime sahip alternatifler).

Kompakt bina formuna sahip alternatifler rüzgar türbini kurulumu için uygun alternatiflerdir. D2 bina formu, sıra bloklara sahip alternatiflerde H/W:1 oranı rüzgarın sokaklardan rahatça geçmesine izin verdiği için çatı üstünde rüzgar kurulumu için önem taşıyan dengeli hız dağılımı sağlamıştır.

Rüzgar türbini kurulumu için kentsel alanlarda kurulum yapılacaksa, türbin kurulacak binanın İstanbul için en az 5 katlı olması etkili olacaktır.

D2 kentsel doku bina formuna sahip alternatiflerde, hakim rüzgar yönü binaların dar cephesine dik, geniş cephesine paralel geldiği durumlarda, H:W oranı 1 olduğunda dokularda rüzgar sokaklardan çok rahat geçtiği için çatılara ulaşmadan doku alanını terk etmektedir. Bu nedenle yaya seviyesinde rüzgar hızı dengeli dağılırken, çatı üstünde istenilen rüzgar hızı değerlerine ulaşamamaktadır.

Çalışma kapsamında kentsel alanlarda farklı parametrelere bağlı olarak geliştirilen alternatiflerin çatı seviyesindeki rüzgar hızı değerlerinin bütüncül değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu bağlamda yeni kentsel alanlar oluşturulurken ya da kentsel dönüşüm yapılırken kentsel alanların tasarımını binaların çatısına rüzgar türbini kurulumuna uygun şekilde yapmak, enerji, ekonomik ve çevresel açıdan etkili bir yaklaşım olacaktır. Dolayısıyla, çalışmada geliştirilen yaklaşım; Türkiye için potansiyeli yüksek, ulaşılması kolay ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak rüzgar enerjisinin Türkiye’de yerleşmelerde kullanımının optimize edilmesi ve kentsel dokuda giderek artan enerji tüketimi ve enerji tüketimine bağlı çevre sorunlarının oluşturduğu olumsuzlukların giderilmesinde önemli bir adım atılmasını sağlayabilecektir. Ayrıca, çalışmanın, yerleşmelerde kentsel dönüşüm yapılacak ya da yeni tasarlanacak alanlarda binalarda rüzgar enerjisinin kullanımı için ileride yapılacak yeni çalışmalara yol açacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- 1.Y.E. Abu Eldahab, N.H. Saad, A. Zekry, "Assessing wind energy conversion systems based on newly developed wind turbine emulator", International Journal of Smart Grid, Vol.4, No.4, December, (2020).
2. A. Harrouz, I. Colak, K. Kayisli, "Energy modeling output of wind system based on wind speed," 8th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), (2019), pp: 63-68, doi: 10.1109/ICRERA47325.2019.8996525.
3. M.Z. Shiraz, A. Dilimulati, M. Paraschivoiu, "Wind power potential assessment of roof mounted wind turbines in cities", Sustainable Cities and Society 53, 101905, (2020).
4. S.L. Walker, "Building mounted wind turbines and their suitability for the urban scale—A review of methods of estimating urban wind resource", Energy and Buildings 43, (2011), pp: 1852–1862.
5. S.S. Napitupulu, G. Hardiman, & R.R. Tobing, "The correlations between building heights and wind speed in determining the dimension of windows in a high-rise residential building façade", IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 903, 012002, (2021).
6. A. Yeşilyurt, A., G. Koçlar Oral, "A study on the evaluation of wind energy to reduce energy loads in settlements," International Journal Of Renewable Energy Research, Vol.12, No.1, March, (2022), pp: 442-457.
7. D. Bruse, "Decoding urban nature". ENVI\_MET GmbH, (2017).



## **BİNA YANGIN KOMPARTIMANLARINDA TASARIM VE UYGULAMA**

Elif ÇATAKLI<sup>1</sup>  
Efectis Era Avrasya

### **ÖZET**

*Binalarda yangın güvenliğini sağlamanın önemli noktalarından biri de malzeme seçimidir. Yangının yayılımını sınırlandırmak için binalarda yangın kompartimanları oluşturulur. Ancak kompartiman, sadece duvarın yangına dayanımlı olması demek değildir. Duvarın ya da yangın kompartimanını oluşturan yapı elemanlarının yangın dayanım özellikleriyle uyumlu bir yangın kapısı seçilmesi, tesisat geçişlerinin yalıtılması ve kanal geçişlerinde damper kullanılması yangın kompartimanının toplam performansında belirleyici rol oynar. Binalarda yangın kompartimanı oluşturmak için doğru ürün seçilmesi önemlidir. Bunun için de yapı malzemelerinin yangın performansını gösteren raporlara bakılmalıdır. Yapı malzemelerinin yangın performansları, yangına tepki testleri ile ölçülür. Yangına tepki testleri, bir yapı malzemesinin yangına ne şekilde ve ne seviyede etki edeceğini gösterir. Yapı elemanlarının yangın performansı ise yangına dayanım testleri ile ölçülür. Yük taşıma kapasitesi, yalıtım ve bütünlük özelliklerini ayrı ayrı veya birlikte koruduğu süreye göre elemanın yangına dayanımı değerlendirilir. Yangına dayanım test ve sınıflandırma raporları, bir sistemin hangi bileşenlerle ve hangi şartlar altında yangın performansı gösterdiğini ifade eder. Bir yapı bileşeni, yangın testine girdiği gibi sahada da aynı özelliklerle uygulanmalıdır. Örneğin bir yangın kapısının içerisindeki taş yünü yoğunluğu ya da kapının duvara montajı için kullanılan vida sayısı, uygulandığı yerde de yangın testinde uygulandığı biçimde yer almalıdır. Bu çalışmada, akredite bir yangın laboratuvarında testleri yapılmış örnekler üzerinden bir yangın kompartimanının tasarlama süreci anlatılacaktır.*

*Anahtar sözcükler: Yangın Kompartimanı, Yangın Testi, Yangına Tepki, Yangın Dayanımı.*

### **ABSTRACT**

*One of the important points of ensuring fire safety in buildings is material selection. Fire compartments are created in buildings to control the spread of fire. However, the compartment does not only mean that the wall is fire resistant. Choosing a fire door compatible with the fire resistance properties of the wall or the structural elements that make up the fire compartment, insulating the installation passages and using dampers in the duct passages play a decisive role in the overall performance of the fire compartment. It is important to choose the right product to create a fire compartment in buildings. For this, reports showing the fire performance of building materials should be consulted. Fire performance of building materials is measured by fire reaction tests. Fire reaction tests show how and at what level a building material will react to fire. The fire performance of building elements is measured by fire resistance tests. The fire resistance of the element is evaluated according to the time it maintains its load bearing capacity, insulation, and integrity properties separately or together. Fire resistance test and classification reports express the fire performance of a system with which components and under which conditions. A building component should be applied with the same characteristics in the field as it is tested in the fire test. For example, the density of rock wool in a fire door or the number of screws used for mounting the door to the wall should be applied in the same way as it is applied in the fire test. In this study, the design process of a fire compartment will be explained through examples tested in an accredited fire laboratory.*

*Key words: Fire Compartment, Fire Test, Reaction to Fire, Fire Resistance.*

---

<sup>1</sup> elif.catakli@effectis.com

## 1. GİRİŞ

Binalarda yangın güvenliği sağlamada asıl amaç yangının çıkmasını engellemektir. Sonrasında ise çıkan bir yangının yayılımının sınırlandırılması gerekir. Yangını sınırlandırmak için yönetmelikte belirtilen yerlere belirtilen sürelerde yangın kompartımanları yapılır.

Tavanı, tabanı ve tüm duvarları en az 60 dakika yangına dayanıklı olan, duman ve ısı geçirmeyen bölgelere yangın kompartımanı denir. Yangın kompartımanı, yangına dayanıklı duvar, yangın kapısı, pasif yalıtım uygulamaları ile bir bütün olarak düşünülmelidir. Yönetmelikler gereği her mahalın yangın kompartımanı olması şart değildir. Bir mahalde çıkan bir yangının başka bir mahale yayılması daha kolay olan, tehlike arz eden mahallere yangın kompartımanı yapılır. Yangın kompartımanı yapmak için ilk aşama yangına dayanım gereksinimlerini belirlemektir. Bunun için de Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik'te tanımlanan yangına dayanım sürelerine bakılır. Yangına dayanım testleri, o ürünün test standardına uygun şekilde akredite bir test laboratuvarında test edilmelidir. Bir ürün teste hangi şekilde girdiyse sahada da o şekilde uygulanmalıdır. Kullanılan aksesuarlardan duvar destek yapısına kadar her detay incelenmelidir.

Aşağıdaki tabloda hangi ürün grubunun hangi standarda göre test edildiği ve sınıflandırıldığı belirtilmiştir (**Çizelge 1.**)

**Çizelge 1:** Ürün gruplarının test ve sınıflandırma standartları

	Test Standardı	Sınıflandırma Standardı
<i>Yük taşımayan bölme duvar</i>	TS EN 1364-1	TS EN 13501-2
<i>Yük taşıyan bölme duvar</i>	TS EN 1365-1	TS EN 13501-2
<i>Yangın kapıları ve kepenkler</i>	TS EN 1634-1	TS EN 13501-2
<i>Pasif yalıtım uygulamaları</i>	TS EN 1366-3	TS EN 13501-2
<i>Yangın damperleri</i>	TS EN 1366-2	TS EN 13501-3
<i>Duman damperleri</i>	TS EN 1366-10	TS EN 13501-4

## 2. YANGINA TEPKİ VE YANGINA DAYANIM

Yapılarda kullanılan her türlü yapı malzemesinin ve bina elemanının yangın performansını irdelemek gerekir. Bu yapı malzemelerinin ve bina elemanlarının yangın anında belirli kriterleri belirli süre boyunca sağlaması istenir.

İnşa edilen yapının yük taşıma kapasitesi, öngörülmüş olan belirli bir süre boyunca azalmamalıdır. Yapı işleri içinde yangın ve dumanın oluşması ve yayılması sınırlı olmalıdır. Yangının etraftaki yapı işlerine yayılması sınırlı olmalıdır. Yapı sakinlerinin binayı emniyetli bir şekilde terk edebilmesi veya başka yollarla kurtarılabilmesi sağlanmalıdır. Kurtarma ekiplerinin emniyeti göz önüne alınmalıdır [1].

## 2.1. Yangına Tepki

Yapı malzemelerinin yangın performansı yangına tepki testleri ile ölçülür. Yangına tepki testleri, yapı malzemesinin gelişmekte olan bir yangına ne şekilde ve ne seviyede etki edeceği sınıf bazında gösterir. Yanıcılık sınıflarına göre ise testin deney yöntemi değişiklik gösterir.

- A1: Hiç yanmaz. Yanmanın herhangi bir anında yanmaya katkıda bulunmaz.
- A2: Zor yanıcı. Yanmanın herhangi bir anında yanmaya önemli ölçüde katkıda bulunmaz.
- B, C: Zor alevlenici
- D, E: Normal alevlenici
- F: Kolay alevlenici
- S: Duman oluşumu için ilave sınıflandırma
- D: Damlama için ilave sınıflandırma

Yangına tepki testleri, TS EN 13501-1 standardına göre yapılır. Bu standart tüm yapı mamullerinin alev karşısındaki davranışlarını kapsar. Bu standarda göre yapı mamulleri ikiye ayrılır; yer döşemeleri hariç yapı mamulleri ve yer döşemeleri. Bu ayrımın sebebi yer döşemelerinin yanma esnasında yanma damlası oluşturmasıdır. İlave sınıflandırma gerektirir [2].

- d0, TS EN 13823'e göre deneylere tâbi tutulduğunda, 600 s içinde yanma damlacıkları / tanecikleri oluşmuyorsa,
- d1, TS EN 13823'e göre deneylere tâbi tutulduğunda, 600 s içinde, 10 s'den daha uzun süre yanma damlacıkları / tanecikleri oluşmuyorsa,
- d2, herhangi bir performans beyanı yapılmamışsa veya aşağıdaki şartları sağlayan mamul.
  - d0 ve d1 sınıfları için belirlenen yukarıdaki kriterleri sağlamıyorsa,
  - Yanma deneyinde (prEN 11925-2) kâğıt yanarsa

## 2.2. Yangına Dayanım

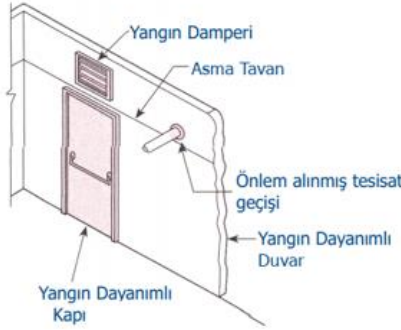
Bina elemanlarının yangın performansı yangına dayanım testleri ile ölçülür. Yangına dayanım testleri, bina elemanlarının yük taşıma kapasitesi, yalıtım ve bütünlük kriterlerinde özelliğini koruduğu süreye göre dakika bazında gösterir.

- R (Yük taşıma kapasitesi): Yapı elemanının yangın anında belirli bir süre boyunca yapısal stabilitesini koruma kapasitesidir.
- E (Bütünlük): Yapı elemanının yangına maruz kalan tarafından yangına maruz kalmayan tarafına sıcak gaz ve alev geçirmemesidir.
- I (Yalıtım): Yapı elemanının yangına maruz kalan tarafından yangına maruz kalmayan tarafına ısı geçirmemesidir.
- W (Radyasyon): Termal radyasyonun azaltılmasıdır.

Yangına dayanım testleri, TS EN 1363-1 standardında belirtilen genel kurallara göre yapılır. Ancak ürün grubuna göre her ürünün kendi test standardında belirtilen ayrıntılara bakılır [3].

### 3. YANGIN KOMPARTIMANI OLUŞTURMAK

Yangın kompartımanı oluşturmak için “Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik” te belirtilen Ek-3/B Yapı Elemanlarının Yangına Dayanım (Direnç) Süreleri ve Ek-3/C Bina Kullanım Sınıflarına Göre Yangına Dayanım (Direnç) Süreleri tablolarına bakılır. Bina yüksekliğine göre oluşturulması gereken kompartımanların süreleri belirlenir. Buna bağlı olarak yapı elemanı kapsamında duvar destek yapısı, bu duvara takılacak kapı, kanal geçişleri olacaksa kullanılacak damper ve tesisat geçişleri olacaksa bu geçişlerin çevresinin yalıtılması için pasif yalıtım ürünlerinin seçilir (Şekil 1.) [4].



Şekil 1: Yangın kompartımanı oluşturmak

Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik” e göre her duvarın yangına dayanıklı olması şart değildir. Yangın yükü ve riskinin fazla olduğu, yangın çıktığı durumda yangının diğer alanlara yayılmasının rahat olduğu alanlar için yangın kompartımanı tanımlanır. Yapı boyutundan ve kullanım sınıfından bağımsız 120 dk yangın kompartımanı yapılması gereken mahaller; yangın merdivenleri, yangın güvenlik holleri, shaftlar, kazan daireleri, trafo merkezleri, yakıt depoları, jeneratör, kimyasal depolardır. Yapı boyutuna ve kullanım sınıfına bağlı yangın kompartımanı yapılması gereken mahaller; iki veya daha çok bina tarafından ortak kullanılan duvarlar, otoparklar, ana elektrik dağıtım odaları, teknik mahaller, kimyasal madde içermeyen 50 m<sup>2</sup> ve üzeri depolardır.

120 dakikalık bir yangın kompartımanında duvarların, pencerelerin ve pasif yalıtım geçişlerinin 120 dakika yangına dayanıklı olması gerekirken kapıların 90 dakika yangına dayanıklı olması gerekir. Aynı şekilde 90 dakikalık bir yangın kompartımanında duvarların, pencerelerin ve pasif yalıtım geçişlerinin 90 dakika yangına dayanıklı olması gerekirken kapıların 60 dakika yangına dayanıklı olması gerekir.

#### 3.1. Duvar destek yapıları

Yük taşımayan bölme duvarlar TS EN 1364-1 standardına göre test edilir [5]. Bu kapsamda duvar, kendi ağırlığından başka hiçbir ağırlığa maruz kalmayacak şekilde tasarlanmalıdır. Yük taşımayan bölme duvarlar için R yük taşıma kapasitesi aranmaz, EI kriterlerinde yani bütünlük ve yalıtım kriterlerinde özelliklerini korudukları süre bazında sınıflandırılır. Duvar destek yapısı gaz beton, bims blok, tuğla gibi rijit duvar sistemi olarak ya da alçı panel gibi esnek duvar sistemi olarak yapılabilir (Şekil 2.).



Esnek duvar sistemi

Rijit duvar sistemi

Cam bölme duvar sistemi

Şekil 2: Duvar sistemleri

Herhangi bir destekleyici yapı ile test edilen numuneler için sonuç, testte kullanılan aynı veya daha yüksek sınıflandırılmış yangın direncine (daha kalın, daha yoğun, daha fazla levha katmanı) ve aynı yatay ve/veya dikey yönlendirmeye sahip aynı tipteki (esnek veya sert) diğer destekleyici yapılara uygulanabilir.

Duvar sisteminin seçimini yapılırken, kullanılması planlanan yangın kapısının, şaft kapağının, pasif yalıtım geçiş ürününün, yangın / duman damperinin, duman tahliye fanının özelliklerini de düşünülmesi gerekir.

## 2. Yangın Kapıları ve Kepenkler

Her yapı elemanının test standardı birbirinden farklıdır. Yangın kapıları ve kepenkler TS EN 1634-1'e göre test edilmektedir [6]. Kapılarda E ve I kriterleri yani bütünlük ve yalıtım kriterleri aranır.

Kapı; kapı kasası, kapı kanadı ve aksesuarlardan oluşur. Kapı kasası, kapının duvar ile arasındaki bağlantı elemanlarıyla; kapı kanadı ise kapının içerisindeki yalıtım ürünleri ve aksesuarların bağlantı elemanlarıyla ilişkilidir. Aksesuarlar için ise her bir aksesuar tarafından kapı kasasına bir ekleme gerekeceğinden aksesuarların miktarından boyutuna ve konumuna kadar gözlenmelidir. Kapının aleve maruz kalan yönü de oldukça kritiktir. Çünkü içerisindeki yalıtım ürünlerinin sıralaması aleve maruz kaldığı yöne göre belirlenecektir.

Bir yangın kapısı teste girdiği duvar yapısından daha düşük yoğunluklu bir duvar sistemine takılmamalıdır. Çünkü burada aradaki bağlantı elemanlarının tutuculuğu değişecektir ve kapı kasasının içerisindeki yalıtım malzemelerinin hiçbir önemi kalmayacaktır. Kapı kasasının parçaları genellikle birbirine vidalarla sabitlenir. Kasa kenarlarına ise çeşitli fitiller koyularak yalıtım sağlanır. Vidaların konumu ve fitillerin marka modeli, yoğunluğu ve boyutları önemlidir. Teste girdiği şekilde sahada uygulanmasına dikkat edilmelidir. Kapı kanadının içerisinde ise camyünü, seramik yünü, alçı levha gibi çeşitli yalıtım ürünleri bulunur. Bu ürünlerin özelliklerine dikkat etmenin yanı sıra sıralamalarına da dikkat edilmelidir (Şekil 3.).



Şekil 3: Kapı kasasının içerisindeki yalıtım ürünleri örnekleri

Aksesuarların takılabilmesi için destek sacları bulunur. Aksesuar olarak yaylı ya da yaysız menteşeler, kilit sistemleri, kapı kolu sistemleri ve bareller bulunabilir (Şekil 4.). Bir yangın kapısına sonradan bir aksesuar eklenmesi uygun değildir. Kapıda kullanılması istenen aksesuarların ve kapı kolu tipinin önceden seçilerek ona uygun şekilde test edilmiş bir kapı alınması doğru olacaktır.



HİDROLİK

MANYETİK TUTUCU

ALARM SİSTEMİ

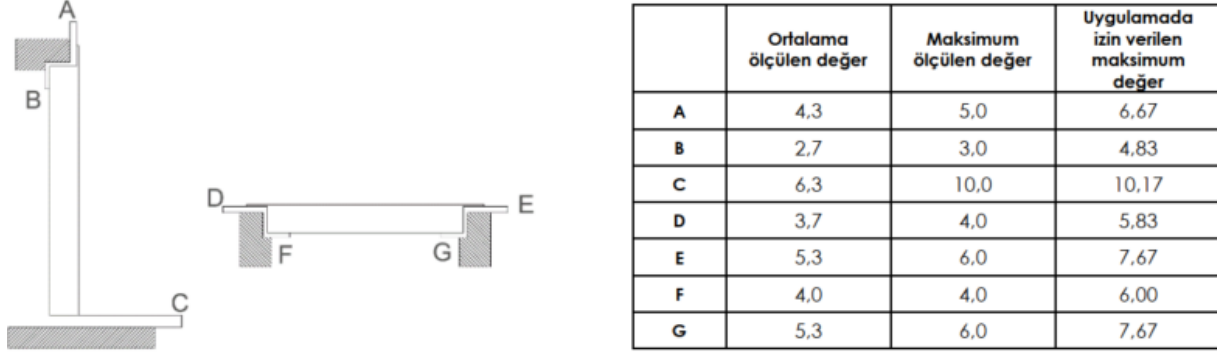
Şekil 4: Aksesuar örnekleri

Test edilen bir yangın kapısının boyut artışına izin verilip verilmediği yine test standardında belirtilmiştir. Test sonunda kapı iki şekilde kategori edilmektedir. Kategori A ve Kategori B. “Kategori B”ye giren bir kapının boyutları en fazla boy ölçüsünde en fazla %15, en ölçüsünde ise en fazla %15 oranında arttırılabilir (Şekil 5.).

YANGIN DAYANIM SINIFI		
Çalışma yönü: Yangından uzağa doğru açılan.		
Kategori A	Kategori B	
E120, EI <sub>2</sub> 120, EI <sub>1</sub> 45	E90, EI <sub>2</sub> 90, EI <sub>1</sub> 30	
Kanat Toplam Boyutu	Kanat	
	Minimum	Maksimum
Boy	1635 mm (%75)	2507 mm (%15)
En	490 mm (%50)	1127 mm (%15)
Alan	-	2.56 m <sup>2</sup> (%20)

Şekil 5: Kategori A ve Kategori B ayrımı örneği

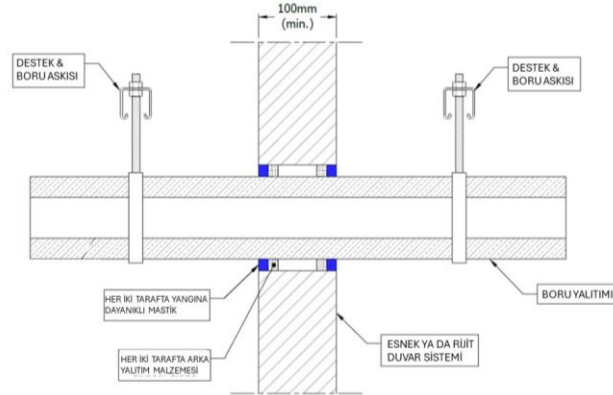
Bir kapı setinin sabit ve hareketli bileşenleri arasındaki boşlukların boyutu, genel yangın performansı üzerinde etkili olacaktır. Bu nedenle, uygulamada izin verilecek bu boşlukların boyutu, test örneğindeki boşlukların boyutuna bağlı olacaktır (Şekil 6.). Çünkü bu boşluklar Bütünlük (Integrity) hatası oluşturacaktır.



Şekil 6: Örnek bir kapı kasası ile kapı kanadı arasındaki boşluk değerleri (mm)

### 3.3. Pasif Yalıtım Uygulamaları

Yangın kompartımanı geçişlerinde kompartıman bütünlüğünün sağlanabilmesi için, en az uygulanan kompartımanın yangın dayanımı kadar yangına dayanıklı bir pasif yalıtım uygulaması yapılmalıdır [7]. Bu durumda, pasif yalıtımın uygulama alanında test raporunda belirtilen uygulama kalınlıklarında ve malzemeler ile gerçekleştirilmesi kritiktir. Kullanılacak pasif yalıtımın uygulanabileceği maksimum alan, duvarda mı döşemde mi kullanılacağı, hangi destek yapısı ile kullanılacağı ve hangi yalıtım ürünleri ile kullanılacağı test raporlarında belirtilir.



Şekil 7: Örnek bir yangına dayanıklı mastik kullanımı

Örnek olarak Şekil 7.'de yangına dayanıklı bir mastik kullanımının detayları gösterilmiştir. Şekil 8.'de ise bu mastik hangi yarıçaplı boruda nasıl kullanılırsa ne kadar yangına dayanım elde eder listelenmiştir.

**Çizelge 2:** Örnek bir yangına dayanıklı mastik kullanımı

Boru Sistemi	Yalıtım	Sınıflandırma
<b>Plastik boru</b> 15 mm çap x 2,5 mm et kalınlığı / 25 mm dış çap	-	EI 120
16-75 mm çap / 2,25 – 4,7 mm et kalınlığı	60 mm kalınlığında cam yünü veya taş, mineral yün min. 75 kg/mJ	EI 60
<b>Hafif veya paslanmaz çelik boru</b> 4 mm çap / 1.0-2.0 et kalınlığı	-	EI 90
<b>Bakır veya çelik boru</b> 6-12 mm çap / 0.7-6.0 mm et kalınlığı	-	E 90 & EI 60
12-54 mm çap / 0.9-14.2 mm et kalınlığı	20-80 mm kalınlığında taş, mineral yün min. 80 kg/mJ	E 120
12-54 mm çap / 0.6-14.2 mm et kalınlığı	20-60 mm kalınlığında cam yünü veya taş, mineral yün min. 75 kg/mJ	EI 60 & EI 60

### 3.4. Damper

Yangın damperlerinin TS EN 1366-2 Standardına göre test edilip, TS EN 13501-3 Standardına göre de sınıflandırılması gerekmektedir [8] [9]. Yangın damperleri motor aktivasyonlu veya sigortalı olabilir. Şekil olarak ise dikdörtgen veya dairesel şekilde üretilebilir. Kullanım alanı olarak ise test standardında belirtilen 6 farklı tipte montajı bulunmaktadır. Bunlar sınıflandırma raporunda değil test raporunda detayları ile belirtilir. Yangın damperlerinde ek olarak aşağıdaki sınıflandırma kriterleri mevcuttur:

- V<sub>e</sub>, damperin dikey bir düzleme yerleştirildiğini,
- H<sub>o</sub>, damperin yatay bir düzleme yerleştirildiğini,
- w, damperin bir duvara veya zemine monte edildiğini,
- d, damperin bir kanala monte edildiğini gösterir
- i → o, çalışma yönü içeriden dışarıya,
- o → i, çalışma yöne dışarıdan içeriye olduğunu belirtir.
- S, duman sızdırmazlığı niteler.

Şekil 9.'da duvarda kullanılacak, EI 90 ve E 120 özellikli, duman sızdırmaz bir damperin yangına dayanım sınıfı belirtilmiştir.

Yangına Dayanım Sınıfı
E 120 (v <sub>e</sub> , i→o)S
EI 90 (v <sub>e</sub> , i→o)S

**Şekil 9:** Örnek bir yangın damperi sınıflandırması



Duman damperleri ise yangın damperlerinden farklı olarak genelde çok bıçaklı üretilirler ve bıçaklar arasında conta gibi malzemeler ile sızdırmazlığın sağlanması hedeflenir. Duman damperleri duman tahliyesinin yapıldığı noktalarda kullanılır. Duman damperleri de TS EN 1366-10'a göre test edilip TS EN 13501-4'e göre sınıflandırılmalıdır [10] [11]. Öncelikle duman damperi, duvarda mı, döşemede mi veya yatay kanalda mı, dikey kanalda mı kullanılacak bilinmelidir. Sonrasında bu duman damperinin tek bir kompartımana mı yoksa çok kompartımana mı nüfuz edeceği bilinmelidir. Eğer tek bir bölgeden direk şafta bağlanılarak tahliye edilecek ise tek kompartıman fakat farklı bölümlerden geçerek bir tahliye söz konusu ise duman damperi çok kompartımanlı olmalıdır.

Duman damperlerinin yangına dayanım testleri tek aşamalı değildir. Öncelikle duman damperi bir çevrim testine girer ve çevrim sayısına yönelik sınıflandırma alır. Daha sonra yangın dayanım testi ile bir açıklığı koruma testi gerçekleştirilir. Dikey ya da yatay kullanım sınıfı, duvarda mı kanalda mı kullanılacağı belirtilir. Ek olarak basınç ve çevrim sayısı, aktivasyon türü gibi parametreler de raporda yer alır. S ifadesi yine duman sızdırmazlığını belirtir.

#### **4. SONUÇLAR**

Bu çalışmada, bir kompartıman oluşturmanın aslında ne kadar çok detay barındırdığı anlatılmıştır. Hangi duvarın kaç dakika yangına dayanıklı olması gerektiğini gösteren kompartıman projeleri hazırlanır. Bu sayede yangın kompartıman planlaması daha kolay ve anlaşılır hale getirilir. Bu proje üzerinden hangi kapıların yangına kaç dakika dayanımlı olması gerektiği, hangi duvarda yalıtım uygulamalarının ve damperlerin olacağı belirlenir.

Bir kompartıman oluşturulurken, proje aşamasında seçilen duvar sisteminin, uygulama aşaması da düşünülmelidir. Yangın kapısının, yalıtım ürünlerinin, damperlerin tasarım aşamasında seçilen duvar sistemi ile teste girmesi ve testi istenilen sürede başarı ile geçmesi gereklidir. Sonraki aşamalar göz önünde bulundurularak tasarımlar ve uygulamalar yapılmalıdır.

Bu adımlardan herhangi birinin atlanması, kompartımanın etkisini yok etmiş olur. Doğru ürünler seçilse bile doğru montajı yapılmadığı takdirde bir kompartıman oluşturulmuş olmaz. Burada asıl önemli konu malzeme bilgisidir. Yapı malzemelerinin yangına tepki sınıfları, bina elemanlarının yangına dayanım süreleri bilindiğinde kompartıman oluşturmak daha kolay olacaktır. Buna ek olarak yangın performansını belirten raporları okuyabilmek doğru malzeme ve doğru montaj konusunda oldukça önemlidir.

#### **TEŞEKKÜR**

Paylaştığı bilgiler ve raporlar için Efectis Era Avrasya Test ve Belgelendirme A.Ş.'ye teşekkür ederim.

#### **KAYNAKLAR**

1. Yapı Malzemeleri Yönetmeliği (2013), T.C. Resmî Gazete. 28703, 10.07.2013.

2. TS EN 13501-1 Yapı Mamulleri ve Yapı Elemanları – Yangın Sınıflandırması – Bölüm 1: Yangın Karşısındaki Davranış Deneylerinden Elde Edilen Veriler Kullanılarak Sınıflandırma (2018).
3. TS EN 1363-1 Yangına Dayanıklılık Deneyleri- Bölüm 1: Genel Kurallar (2020).
4. Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (2007), T. C. Resmî Gazete. 26735, 19.12.2007.
5. TS EN 1364-1 Yük Taşımayan Elemanların Yangına Dayanıklılık Deneyleri- Bölüm 1: Duvarlar (2015).
6. TS EN 1634 – 1 Yangına Dayanıklılık Deneyleri- Bölüm 1: Yangın Kapıları ve Kepenkler (2018).
7. A. A. Türkkkan, M. Soydemir. Pasif Yangın Durdurucu Malzemelerin Test Standartları, Standartlardaki Güncel Değişiklikler ve Kriterler, Mühendis ve Makina, 56,661, (2015), 48-54.
8. TS EN 1366-2 Yangına Dayanıklılık Deneyleri- Bölüm 2: Yangın Damperleri (2015).
9. TS EN 13501-3 Yapı Mamulleri ve Yapı Elemanları – Yangın Sınıflandırması – Bölüm 3: Bina Hizmet Tesisatlarında Kullanılan Mamuller ve Elemanlar Üzerinde Yapılan Yangına Dayanıklılık Deneylerinden Elde Edilen Veriler Kullanılarak Sınıflandırma: Yangına Dayanıklı Hava Kanalları ve Yangın Damperleri (2012).
10. TS EN 1366-10 Servis Tesisatları için Yangına Direnç Deneyleri- Bölüm 10- Duman Kontrol Damperleri (2011).
11. TS EN 13501-4 Yapı Mamulleri ve Yapı Elemanları- Yangın Sınıflandırması - Bölüm 4: Duman Kontrol Sistemlerinin Bileşenleri Üzerinde Yapılan Yangına Direnç Deneylerinden Elde Edilen Veriler Kullanılarak Sınıflandırma (2016).

## DIŞ CEPHELERDE YANGIN GÜVENLİĞİ

Timur Diz<sup>1</sup>  
Beyza Tanyol<sup>2</sup>  
Yiğit Kaan Aktaş<sup>3</sup>  
İZODER Isı Su Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği  
Ümraniye, İstanbul, 34775

### ÖZET

*Artan enerji maliyetleri, enerjide dışa bağımlılık, çevresel hedefler içeren uluslararası antlaşmalara taraf olunması vb. birçok etken dolayısıyla ülkemizde de ısı yalıtımı uygulamaları her geçen gün yaygınlaşmaktadır. Cephelelerde en yaygın yalıtım uygulaması konut türü binalarda sıvalı dış cephe ısı yalıtım sistemleri, görselliğin öne çıktığı hizmet binalarında ise giydirme cephe uygulamalarıdır. Son yıllarda meydana gelen ve kamuoyunda geniş yankı bulan giydirme cephe yangınlarının ardından Türkiye Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik'te 2015 yılında yenilendi ve dış cephele ile tanımlamalar ve hükümler ilave edilmiştir.*

*Bu çalışmada; geleneksel ve giydirme cephe sistemleri için ülkemizdeki mevzuatlarda tanımlanan yangın güvenliği tedbirleri açıklanmış, özellikle giydirme cephele ile ilgili mevzuata uygun detay çözümleri ile ilgili örnekler paylaşılmış ve yapılan değerlendirmelerin neticesinde Yönetmeliğe ilave edilmesinde fayda görülen bazı önerilerde bulunulmuştur.*

*Anahtar sözcükler: Sıvalı dış cephe ısı yalıtım sistemleri, Havalandırılan giydirme cephele, Isı yalıtımı*

### ABSTRACT

*Thermal insulation applications are becoming widespread in our country day by day due to many factors such as increasing energy costs, foreign dependence on energy, and becoming a party to international agreements containing environmental targets. The most common facade insulation application is plastered exterior thermal insulation systems in residential buildings and curtain wall applications in service buildings where visibility is prominent. Following the façade fires that have occurred in recent years, Turkey's Regulation on Fire Protection of Buildings was revised in 2015 and definitions and provisions related to façades were added to our legislation.*

*In this study; fire safety measures defined in the legislation in Türkiye for traditional and façade systems are explained, examples of detail solutions in accordance with the legislation, especially for façades, are shared and as a result of the evaluations made, some suggestions are made that may be beneficial to be added to the Regulation.*

*Keywords: External thermal insulation composite systems, Ventilated facades, Thermal insulation*

<sup>1</sup> e-posta adresi: timur@izoder.org.tr

<sup>2</sup> e-posta adresi: beyza@izoder.org.tr

<sup>3</sup> e-posta adresi: kaan@izoder.org.tr

## 1.GİRİŞ

Dış cepheye sirayet eden bir yangının yayılımının sınırlandırılmasına dair alınacak yangın güvenliği tedbirleri, oluşturulan cephe detayına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Türkiye Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik dikkate alındığında cepheler; geleneksel cepheler ve giydirme cepheler olmak üzere iki başlık altında ele alınmaktadır. Yönetmelikte yer alan giydirme cephe tanımında dış cephe kaplamalarının kendine ait bir konstrüksiyona mekanik olarak sabitlendiği ve dış cephe kaplaması ile cephe arasında havalandırma boşluğu oluşturmanın mümkün olduğu çözümler ifade edilmektedir [1]. Geleneksel cephe tanımında ise ısı yalıtım levhaları ve üzerinde yer alan tüm sıva vb. katmanların arada hava boşluğu oluşturmayacak şekilde doğrudan dış cephe üzerine uygulandığı, piyasada mantolama olarak bilinen dış cephe ısı yalıtım sistemlerinin de dahil olduğu çözümler tariflenmektedir. Her iki cephe türünde yangının yayılım davranışları birbirinden farklılıklar gösterdiğinden, Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik kapsamında genel hükümlerin yanı sıra giydirme cephelere ve geleneksel cephelere özel farklı hükümlere yer verilmiştir.

Günümüzde sıvalı dış cephe ısı yalıtım sistemleri; ısı köprüsü meydana getirmemesi, yoğuşmayı önleyerek taşıyıcı yapı elemanlarındaki demir donatıların paslanmasını engellemesi ve bu yönüyle deprem ülkesi olan Türkiye için güvenli yapılaşmaya katkı sağlaması dolayısıyla ilk tercih edilen çözüm olup, konut türü yeni ve mevcut binalarda yaygın bir şekilde uygulanmaktadır.

Ülkemizdeki yüksek yapı stokunda havalandırılmalı giydirme cephe çözümleri oldukça yaygın uygulamalardır. Bu cephe türüne sahip binalar tasarlanırken cephenin mekanik dayanıklılığı, ısıl davranış ve ısı yalıtımı, kullanım ömrü gibi kriterlerle beraber yangın güvenliği de göz önüne alınmalıdır.

### 1.1 Cephelerde Yangın Oluşum Şekilleri

Dış cepheler “komşu binalarda meydana gelen yangınlardan”, “bina dışında meydana gelen yangınlardan” veya “bina içinde meydana gelen yangınlardan” etkilenebilirler [2].



Şekil 1: Cephelerde yangın oluşma şekilleri

Komşu binalarda meydana gelen yangınların yayılımının sınırlandırılması için göz önünde bulundurulması gereken parametreler; binalar arası mesafe, cephelerde izin verilen açıklık oranları ve farklı yüksekliğe sahip bitişik nizam yapılarda ise cephelerde kullanılan malzemelerin yangına

karşı tepki sınıflarıdır. Binanın dış cephesinin maruz kalacağı ısı yük; yangının meydana geldiği bina ile arasında olan mesafeye bağlıdır. Mesafe arttıkça alevlerin komşu binaya temas etmesi olasılığı ortadan kalkar. Yangının yayılımı sadece ışınım yoluyla gerçekleşebilir. Işınımın şiddeti ise yangının hangi aşamada olduğuna göre değişir.

Uçuşan yanan parçaların komşu binanın dış cephesinde yangın başlatma riskinden söz etmek gerek ülkemizde dış cephe ısı yalıtım sistemlerinde çimento esaslı son kat kaplamaların kullanılması gerekse de düşey yüzeylerde birikme riskinin olmamasına bağlı olarak temas süresinin azlığı ve rüzgâr etkisi dikkate alındığında önemsizdir.

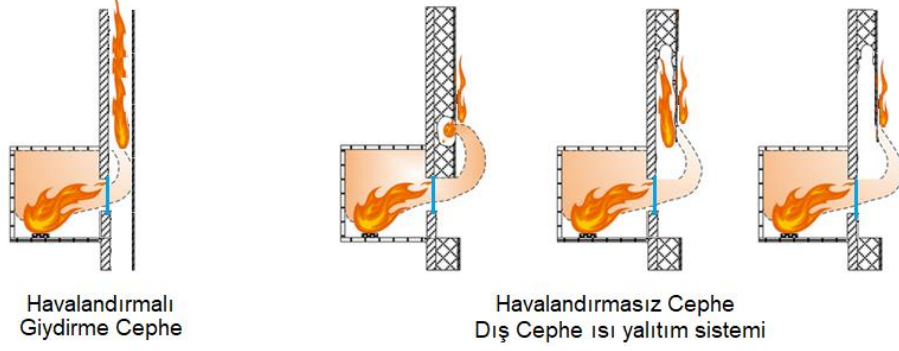
Bitişik nizam yapılarda ise yangının yayılımı, bina içerisinde meydana gelen yangınlar ile aynı şekilde gerçekleşeceğinden, dış cephede alınması gereken tedbirler de birbirine benzerdir. Mahal içerisinde başlayan yangınlarda, camların kırılması neticesinde alevler cepheye ulaşır. Yayılımın sınırlandırılması için alevlerin temas edeceği yüzeylere zor yanıcı ürünler ile yangın bariyeri oluşturulabilir. Ayrıca alevlerin cepheye ulaşmasını önleyen balkon, nervür gibi yapısal engeller de dikkate alınabilir.

Zemin kotunda binanın önünde veya yakınında olan çöp konteynırları ve park halindeki araçlarda yangın çıkması durumunda yangın yüküne bağlı olarak alev ve sıcak gazlar yükselir ve hava akımlarının (rüzgâr) alevleri cepheye doğru iter. Alevlerin yüksekliği, yangın yüküne bağlı olarak artar. Yangın alanının nispeten küçük ve yanıcı madde miktarının sınırlı olması nedeniyle açığa çıkan enerji de düşüktür.

## 1.2 Cephelerde Yangın Yayılımı

Genel olarak dış cepheler; mimari tercihler, yapı fiziğinin gerekleri, maliyet, uygulama kolaylığı vb. muhtelif nedenler ile havalandırma boşluğu içerecek veya içermeyecek şekilde tasarlanabilir. Yangının yayılımı açısından havalandırılan ve havalandırılmayan cephelerin davranışları birbirinden çok farklıdır. Havalandırılan cephelerde; havalandırma boşluğu alevlerin cephede çok hızlı bir şekilde yayılmasına neden olabilirken havalandırma boşluğu içermeyen detaylarda ise yayılım, dış cephede kullanılan malzemelerin yanıcılığına bağlı olarak değişir (bakınız Şekil 2).

Mahal içerisinde yangının gelişimine bağlı olarak iç ortamdaki sıcaklık ve basıncın yükselmesi sonucunda cam kırılır ve alev, pencere açıklığından dışarı doğru çıkararak sıvalı dış cephe ısı yalıtım sisteminin üzerine temas eder. Dış cephe ısı yalıtım sisteminde ısı yalıtım malzemesi olarak EPS kullanılıyorsa; alev sıva ve son kat kaplamaya temas etmesiyle, arkasındaki EPS ısı yalıtım levhası erimeye ve büzülmeğe başlar. Öte yandan sıva ile son kat kaplama içerisindeki eser miktardaki organik polimerler ve file gibi yanıcı doğaya sahip bileşenler yangına katılır. Gerek sıva katmanlarının arkasındaki EPS ısı yalıtım levhasının erimesi sonucu boşluk oluşması gerekse de yangında oluşan sıcaklıkların etkisi bir süre sonra sıva katmanları bütünlüğünü kaybeder. Sıva katmanlarının bütünlüğünü kaybetmesi sonucu alevler doğrudan EPS ısı yalıtım malzemesine ulaşır. Alev ulaşabildiği EPS ısı yalıtım levhalarını yakar. Yangının zayıflaması aşamasında açığa çıkan ısının etkisi ile EPS ısı yalıtım levhaları bir miktar daha eriyerek büzülebilir ve yangın söndürüldüğünde alevlerin ulaştığı ve yangında açığa çıkan ısının etki ettiği yüzeylerde EPS ısı yalıtım levhasının eriyip yandığı diğer bölgelerde ise olduğu kaldığı görülür. [3]



Şekil 2: Cephelerde yangın yayılım şekilleri

Havalandırılmalı giydirme cephelerde; binayı dış bir kabuk olarak saran dış cephe kaplaması ile yapısal cephe elemanları arasında bırakılan havalandırma boşluğu, yangın durumunda baca etkisi olarak da isimlendirilen bir davranış sergileyerek yangının hızlı bir şekilde yayılmasına olanak sağlar. Bu sebeple özellikle havalandırılmalı giydirme cephe sistemlerinde kullanılan taşıyıcı ve kaplama malzemelerinin tamamının yangın güvenliği açısından uygun malzemelerden seçilmesi gerekir. Aksi durumlarda oluşabilecek yangınlarda giydirme cephe sisteminin herhangi bir bileşeninin yangına katılması yangının diğer katlara sıçraması riskini beraberinde getirir. Yangın iç mekanlara sıçradığında can ve mal kaybına sebep olmaktadır. Ülkemizdeki yüksek yapı stokunda havalandırılmalı giydirme cephe çözümleri oldukça yaygın uygulamalardır. Bu cephe türüne sahip binalar tasarlanırken cephenin mekanik dayanıklılığı, ısı davranış ve ısı yalıtımı, kullanım ömrü gibi kriterlerle beraber yangın güvenliği de göz önüne alınmalıdır.

Havalandırma boşluğu içeren ve içermeyen cephe detaylarında yangın yayılımı karakteristiği farklı olduğu için alınması gereken yangın güvenliği tedbirleri de farklıdır. Bu sebeple Türkiye Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik'te 09 Temmuz 2015'de yapılan değişiklikle Yönetmeliğe “geleneksel cephe” ve “giydirme cephe” tanımları eklenmiş ve cepheler ile ilgili çeşitli hükümler ilave edilmiştir.

## 2. GELENEKSEL CEPHELER (SIVALI DIŞ CEPHE ISI YALITIM SİSTEMLERİ)

Dış cephe ısı yalıtım sistemleri; bu uygulamalar için özel üretilmiş ısı yalıtım levhaları, ısı yalıtım sistem yapıştırıcısı, ısı yalıtım sistem sıvası, sıva (donatı) fileleri, dübel ve son kat kaplama malzemelerinden oluşmaktadır. Sıvalı dış cephe ısı yalıtım sistemlerinde ısı yalıtım levhaları; duvar ile levha arasında boşluk kalmayacak şekilde ısı yalıtım sistem yapıştırıcısı kullanarak duvara yapıştırılır ve yapıştırıcının kuruması için en az 24 saat beklendikten sonra ilave olarak dübelle mekanik olarak sabitlenir. Üzerine fileli sıva yapılır ve son kat kaplama ile uygulama tamamlanır [4]. Dolayısıyla detayda havalandırma boşluğu teşkil edilmediğinden, sıvalı dış cephe ısı yalıtım sistemleri; Türkiye Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik uyarınca “geleneksel cephe” olarak ele alınmaktadır.

### 2.1 Yangın Güvenliği Tedbirleri

#### 2.1.1 Bina içinde meydana gelen yangınlar

Ülkemizde yangının binanın dışında başlayıp geliştiği ve daha sonra yapının içerisine sirayet ederek yayıldığı yangınların sayısı ile ilgili herhangi bir bilgi bulunmamakla birlikte yangınların

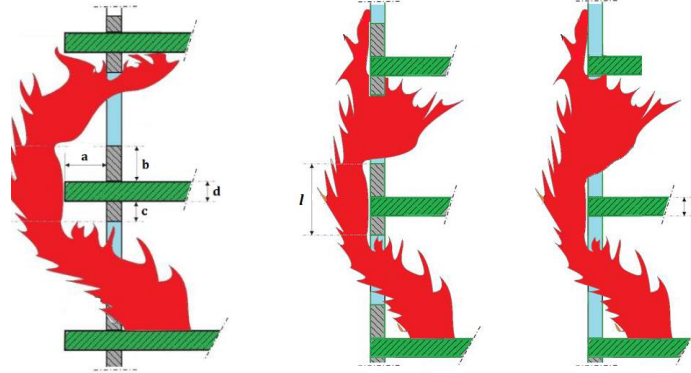
genel olarak bina içerisindeki eşyaların tutuşmaya başlamasıyla çıktığı yönünde yaygın bir kanı vardır. Başlangıç aşamasında tespit edilemeyip zamanla diğer eşyalara da sirayet ederek büyüyen ve tam gelişmiş yangın evresine doğru geçilen bir ortam içerisinde giderek artan sıcaklık ve basınç camların kırılmasına ve meydana gelen boşluktan alevlerin dış cephe kaplamaları ile temas etmesine neden olduğundan, dış cephelerde alınan yangın güvenliği tedbirleri genellikle yangının yayılımının sınırlandırılması prensibi esas alınarak oluşturulmaktadır. Bu bağlamda dış cepheler; bina içerisinde meydana gelen ve gelişen yangınların cephe aracılığıyla bir kattan diğerine atlaması ve cephe boyunca yayılımının önlenecek şekilde tasarlanmalıdır. Bu hedef doğrultusunda;

- Yangın yayılım mesafesine dair düzenlemeler,
- Bina yüksekliğine bağlı olarak cephede kullanılacak sistem veya malzemelerin yangına karşı tepki sınıflarına bazı sınırlamalar ve
- Bazı durumlarda alevlerin temas edeceği yüzeylere zor yanıcı ürünler ile yangın bariyeri oluşturularak ilave tedbir alınması şartı getirilmiştir.

### 2.1.1.1 Yangın yayılım mesafesi

Cepheler için yangın yayılım mesafesi; alevlerin, yangının geliştiği odadaki pencerenin üst kotundan bir üst kattaki pencerenin alt kotuna erişmesi için kat etmesi gereken yol olarak ele alınabilir. Yangın yayılım mesafesi ( $l$ ); nervür vb. cephe düzlemine dik çıkıntıların cepheye olan mesafesi ( $a$ ), pencere alt kotundan tabana olan mesafe ( $b$ ), pencere üst kotundan tavana olan mesafe ( $c$ ) ve döşeme kalınlığının ( $d$ ) toplamıdır. [5]

$$l = a + b + c + d \quad (1)$$



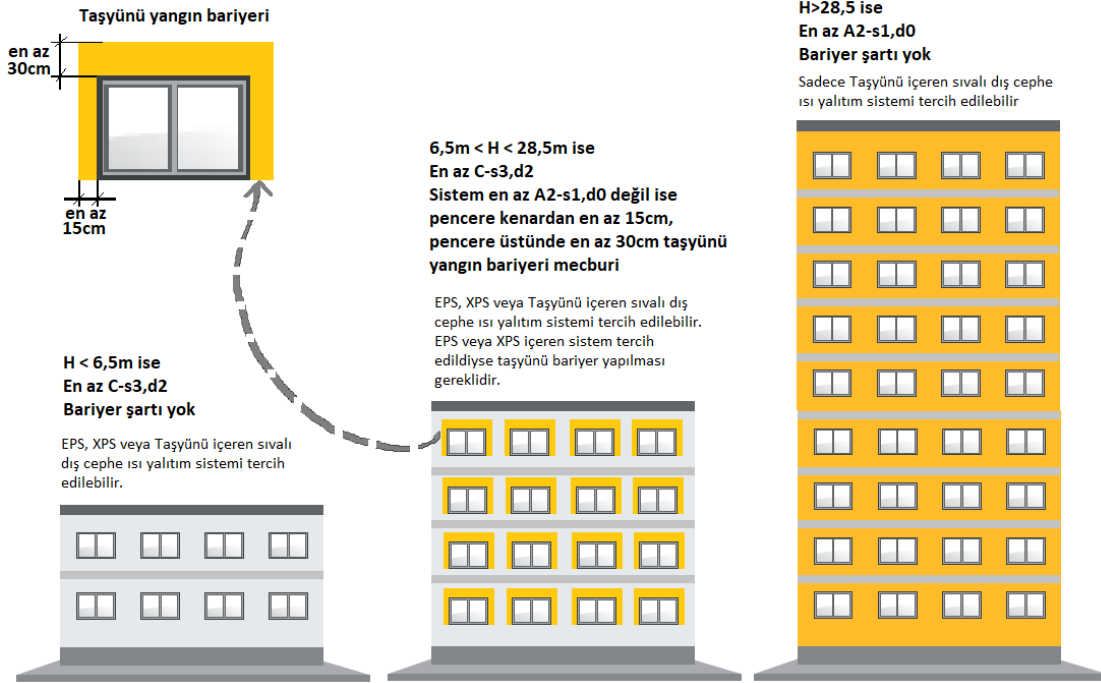
Şekil 3: Farklı tasarımlar için yangın yayılım mesafeleri

Yangın yayılım mesafesi alev yükseklikleri ile ilişkili olup alev yüksekliklerinin binanın kullanım amacı ve yangın yüküne göre farklılık arz edeceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Türkiye Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelikte yangın yayılım mesafesi terimi yerine iki katın pencereleri arasındaki mesafe tanımlanmıştır. Bina içerisinde meydana gelen ve gelişen yangınların bir kattan diğerine atlamasını önlemek amacıyla Yönetmeliğimizde iki katın pencere gibi korumasız boşlukları arasında düşeyde en az 100 cm yüksekliğinde tuğla, bims blok, gaz beton veya donatılı beton gibi yangına dayanıklı yapı elemanlarından teşkil edilmiş dolu yüzeylerin (duvar) oluşturulmasını şart koşmaktadır. Son zamanlarda yaygınlaşan ve katlar arası iki pencere arasındaki mesafenin 100cm'nin oldukça altında olduğu boydan boya pencere sistemlerinin bulunduğu binalarda Yönetmelik, cephelerin iç kısmına en çok 2m aralıklarla 1,5m mesafede yağmurlama başlıkları yerleştirilerek cephe otomatik yağmurlama sistemi ile korunmasını şart koşmaktadır.

### 2.1.1.2 Bina yüksekliğine bağlı sınırlamalar ve yangın bariyeri uygulamaları

Türkiye Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelikte Yangına tepki sınıfının en az A2-s1,d0 olan dış cephe ısı yalıtım sistemleri (taşyünü ve çimento esaslı sıva vb. kaplama içeren sistemler gibi) bina yüksekliğinden bağımsız olarak tüm binalarda kullanılabilir. Taşyünü levhaların gerek yük taşıma kapasitesi gerekse de yanmaması dolayısıyla yapı elemanlarına çelik çivili dübellerle uygulanması gerektiği unutulmamalıdır. Yönetmeliğe göre yangına tepki sınıfı en az C - s3, d2 sistemler (örneğin EPS ve XPS içeren sistemler) ise bina yüksekliği 28,50m'nin altında olan binalarda kullanılabilir. Yüksekliği 28.50 m'den az, 6.50 m'den fazla olan binalarda EPS veya XPS içeren sıvalı dış cephe ısı yalıtım sistemleri (yangına tepki sınıfı en az C - s3, d2 olan) tercih edilecek ise pencere ve benzeri boşluklarının yan kenarlarında en az 15 cm ve üst kenarında en az 30 cm eninde taşyünü ile yangın bariyerleri oluşturulması gereklidir. Bina yüksekliği 6,5m'nin altında olması durumunda ise bariyer yapılması gerekli değildir.



Şekil 4: Bina yüksekliğine göre sıvalı dış cephe ısı yalıtım sistemleri tasarımı esasları

### 2.1.2 Bina dışında meydana gelen yangınlar

Bina dışında meydana gelen yangınların cepheye sirayet ederek yayılımını sınırlandıracak şekilde tedbir alınmalıdır. Bu amaçla; zemin kotunda bina dışında çıkabilecek yangınların etki edeceği yüzeylerde kullanılacak malzemelerin yangına karşı tepki sınıflarına dair sınırlamalar getirilebilir.

Türkiye Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik uyarınca; yüksekliği 28.50 m'den az olan binalarda dış cephesi zor alevlenici (en az C-s3, d2) malzeme veya sistemden oluşabilmektedir. Bu sistemlerde çimento esaslı A sınıfı son kat kaplamalar kullanılabildiği gibi ülkemizde maliyeti dolayısıyla pek tercih edilmese de yangına karşı tepki sınıfı B veya C olan organik bağlayıcılı son kat kaplama içeren dış cephe ısı yalıtım sistemleri de bulunmaktadır.



Yönetmelik; yangına karşı tepki sınıfı en az C-s3, d2 (örneğin EPS veya XPS içeren sistemler) olan sıvalı dış cephe ısı yalıtım sistemlerinin bulunduğu geleneksel cepheli binaların zemin kotu üzerindeki 1,5 m mesafenin hiç yanmaz dekoratif tuğla, taş vb. ürünler veya A1 sınıfı sıvalar kaplanarak bina dışındaki yangınlardan korunması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu hüküm sıvalı dış cephe ısı yalıtım sisteminin ilk 1,5m'lik kısmının yanmaz ısı yalıtım malzemeleri oluşturulmasını şart koşmaz. Ayrıca inşaat tekniği açısından su basman seviyesinin altında ekstürüde polistren köpüğü (XPS) gibi su emmeyen ürünlerin kullanılması gerektiği unutulmamalıdır. Yönetmelikte yer alan bu hüküm; yangına tepki sınıfı B veya C sınıfı olan, organik bağlayıcılı son kat kaplamalar zemin kotunun ilk 1,5m'lik kısmında kullanımının engellenmesine yöneliktir.

### **3. GIYDIRME CEPHE SİSTEMLERİ**

Giydirme cepheler; dış cephe kaplamalarının kendine ait bir konstrüksiyona mekanik olarak sabitlendiği ve dış cephe kaplaması ile cephe arasında havalandırma boşluğu oluşturmanın mümkün olduğu çözümlerdir. Genellikle prestij yapılarında tercih edilen giydirme cephelerde dış cephe kaplaması olarak mermer, granit vb. doğal taşlar ve cam gibi su buharı geçirmeyen yapı malzemeleri kullanıldığından bu binalarda yapı fiziği açısından su buharının dışarı atılmasını sağlamak için cephede bir havalandırma boşluğunun tasarlanması ve/veya bir havalandırma sisteminin tesis edilmesini gerektirir.

#### **3.1 Yangın Güvenliği Tedbirleri**

##### **3.1.1 Detayda kullanılacak malzemelerin yangına karşı tepki sınıfının sınırlandırılması**

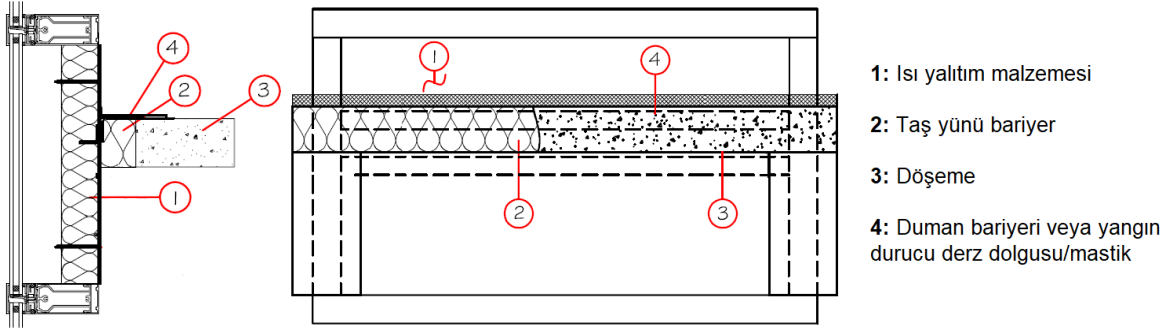
Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik'te 09 Temmuz 2015'de yapılan değişiklikle Yönetmeliğe derzleri açık veya havalandırmalı giydirme cephe sistemlerinde kullanılan dış cephe kaplaması ve yalıtım malzemeleri de dahil olmak üzere taşıyıcı sistem vb. her türlü malzemenin yangına tepki sınıfının en az A2-s1,d0 (zor yanıcı) olması şartı getirilmiştir.

Ülkemizdeki üretilen ve yaygınlıkla kullanılan ürünler dikkate alındığında kat yüksekliğine bakılmaksızın tüm binalardaki havalandırmalı giydirme cephe detaylarında ısı yalıtım malzemesi olarak taşıyıcı ve camyünü gibi mineral yünlerin kullanımı mecburi tutulmuştur. Isı yalıtım malzemesinin yanı sıra dış cephe kaplaması, diğer bileşenlerin de yanmayan ürünlerden teşkil edilmesi gereklidir. 17 Temmuz 2012 tarihinde meydana gelen Polat Towers yangınına yangına tepki sınıfı uygun olmayan yanıcı dış cephe kaplaması dolayısıyla yangın hızla cephede yayılmıştır. 26 Eylül 2011 ve 05 Nisan 2018 tarihlerindeki T.C. Sağlık Bakanlığı Gaziosmanpaşa Taksim Eğitim ve Araştırma Hastanesi yangınlarında ise hem ısı yalıtım malzemesi hem de dış cephe kaplaması yanıcı ürünlerden teşkil edildiğinden yangın yayılımı gerçekleşmiştir. T.C. Sağlık Bakanlığı Gaziosmanpaşa Taksim Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nde yangının yayıldığı cephe havalandırmalı giydirme cephe olarak tasarlanmıştır. Cephe sisteminde kullanılan dış cephe kaplaması ve ısı yalıtım malzemesinin yanmaz olmaması, giydirme cephe sisteminde belli aralıkla herhangi bir pasif yangın durdurucu uygulaması kullanılmaması nedeniyle cephe ile bina arasındaki hava boşluğu baca gibi çalışmış, yangının büyümesindeki en önemli faktör olarak yangının çatıya kadar ulaşmasına sebep olmuştur. Yangının uzun bir süreye yayılması ve sıcaklığın artmasından dolayı cephe sisteminin belli kısımlarında çelik konstrüksiyon erimiş, yangın pencere

ve kapı gibi boşluklardan binanın içine ulaşmıştır. Yangın ihbarından yangının söndürülmesine kadar geçen yaklaşık 150 dakikalık sürede bina kullanılamaz hale gelmiş ve tahliye edilmek zorunda kalmıştır [7].

### 3.1.2 Alevlerin geçebileceği boşlukların kapatılması

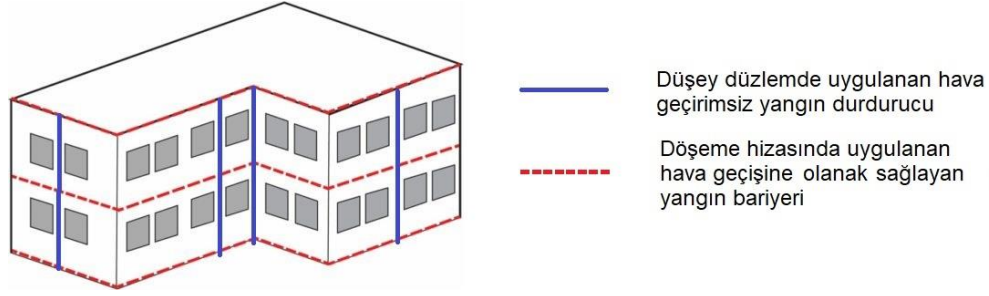
Yönetmelikte alevlerin yayılımının sınırlandırılması prensibi çerçevesinde cephe elemanları ile alevlerin geçebileceği boşlukları bulunmayan döşemelerin kesiştiği yerler, alevlerin komşu katlara atlamasını engelleyecek şekilde döşeme yangın dayanımını sağlayacak süre kadar yalıtılması istenmektedir [6]. Bu amaçla yapılacak olan pasif yangın durdurucu uygulamaları havalandırmalı giydirme cephelerde oluşabilecek yangınların yayılmasını engellemede, binanın boşaltılması ve yangına müdahale edilmesi için vakit kazandırmada başvurulan en önemli yangın yalıtımı uygulamalarından biridir. Özellikle dışarıdan müdahalenin zor olduğu yüksek yapılarda bu uygulama hayati bir öneme sahiptir. Pasif yangın durdurucular ile yapılan yangın yalıtımı uygulaması ile binayı döşemelerde kompartımanlar halinde ayırarak alevin komşu katlara atlaması engellenebilir, ısı ve dumanın yayılması alınan bina boşaltılıncaya kadar kontrol altında tutulabilir.



Şekil 5: Alevlerin geçebileceği boşlukların yangın yalıtımı detayı

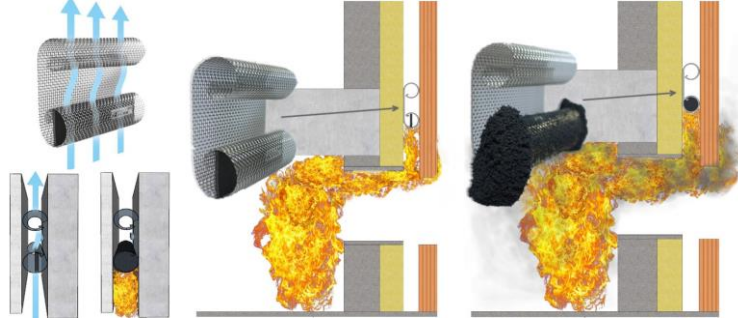
Uygulama öncesi yüzeydeki kir, toz, gevşek dolgu, yağ, gibi yüzeye intibakı engelleyen unsurlar temizlenir. Döşeme ile cephe elemanları arasındaki boşluğa uygun ölçüde taş yünü bariyer sıkıştırılarak yerleştirilir. Taş yünü bariyerin üzerine cephe ve döşeme üzerine en az 10 ila 15cm taşırılarak yangın durucu derz dolgusu üreticisinin tavsiyesi doğrultusunda uygulanır ve kürlenmeye bırakılarak uygulama tamamlanır.

Cephelerde yangın yayılımının sınırlandırılması için önerilen hususlardan birisi de cephedeki boşluğun kompartımanlara bölünmesidir. Her kat seviyesinde bulunan yatay yangın bariyerlerin kullanılması, yangının çıkış yerinden yukarıdaki katlara yayılmasını önleyecektir. Düşeyde yapılacak yangın durdurucu uygulamaları ile birlikte oluşturulacak kompartımanlar ile yangının cephedeki yayılımı uygun sürelerde engellenebilir. Örneğin; hava geçirimsiz yangın durdurucuların düşey konumda uygun aralıklarla kesintisiz olarak uygulanıp, döşeme ile cephe arasındaki boşlukta havalandırmaya olanak veren yangın bariyerleri kullanılarak cephe yangın kompartımanlarına bölünebilir. Böylelikle cephenin yapı fiziği gerekli olan havalandırma fonksiyonu korunurken ve aynı zamanda etkin yangın koruması sağlanır.

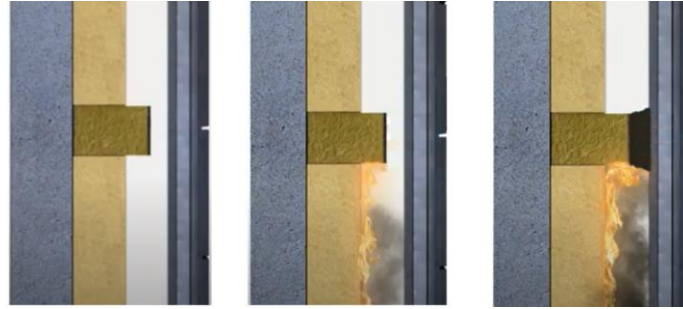


Şekil 6: Cephede yangın kompartımanı örneği

Son olarak da cephedeki boşluk boyunca yangın geçişini kısıtlamak için kullanılacak bir diğer malzeme ise intümesan bariyerlerdir. İntümesan bariyerler ile yapılan yangın yalıtımı uygulaması ile giydirme cephelerin yapı fiziği açısından havalandırma fonksiyonu sürerken yangın anında boşluklarının şişip kapanması ile döşemeleri kompartımanlar halinde ayırır, ısı ve dumanın yayılması bina boşaltılıncaya kadar kontrol altında tutulabilir. İntümesan kaplı taşıyıcı bariyer ısıya maruz kaldığında şişerek havalandırma boşluğu kapanır.



Şekil 7: İntümesan bariyer detayı



Şekil 8: İntümesan kaplı taşıyıcı bariyer detayı

#### 4. SONUÇ

Yönetmeliklerde tanımlanan tedbirler genel olarak yangının cephede yukarıya doğru yayılımına dairdir. Ancak özellikle çıkma alanlarına sahip olan binalarda damlacık teşekkülüne bağlı olarak yangın yayılımı alt katlara doğru gerçekleşebileceği gibi binadan tahliye edilen kişiler veya yangına müdahale eden itfaiye ekibi için tehlike arz edebilir. Bu sebeple Yönetmelikte değişikliğe gidilmeli ve damlacık teşekkülüne (d0, d1, d2) dair sınırlama getirilmelidir. Benzer bir sınırlama duman oluşumuna (s1, s2 ve s3) yönelik de tanımlama yapılabilir.

Yönetmelikte ısı yalıtım malzemesi, ısı yalıtım yapıştırıcısı, dübel, sıva filesi, sıva ve benzeri diğer teçhizat kullanılarak teşkil edilen sıvalı dış cephe ısı yalıtım sistemlerinin ilgili standartlar kapsamında akredite bir laboratuvar tarafından yangına karşı tepki sınıfının raporlanması istenmektedir. Bu haliyle Yönetmelikte yer alan bu hüküm ısı yalıtım fonksiyonu olmayan diğer cephe kaplama ve sistemlerini kapsamamaktadır. Dolayısıyla bu maddede değişikliğe gidilmeli ve uygulama ısı yalıtım fonksiyonu olan veya olmayan tüm sistem ve malzemeleri kapsayacak şekilde genişletilmelidir.

Dış cephe uygulamalarında kullanılacak malzeme seçimi ve detay çözümlerinde Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik'te tarif edilen asgari şartlar ve yangın güvenliği ile yukarıda anılan prensiplere dikkat edilmesi gereklidir. Malzeme seçimi ve cephe tasarımıyla beraber mutlaka uygun pasif yangın durdurucu uygulaması da seçilmelidir. Yangın güvenliği önlemlerinin estetik kaygılar ile aksatıldığı giydirmeye cephe uygulamalarında kötü sonuçlar ile karşılaşmamak adına doğru malzeme seçimi üzerindeki denetimler artırılmalıdır.

Son yıllarda iş merkezi, hastane ve otel binalarında meydana gelen yangınlar kamuoyunda geniş yankı bulmuş, dış cephe çözümleri özelinde binalarda alınması gereken yangın güvenliği tedbirlerinin daha net açıklanarak tartışılması gerekliliğini ortaya koymuştur. Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik ile ilgili uzman kişilerden oluşan bir çalışma grubunca açıklayıcı rehberler hazırlanmalıdır.

Yangın güvenli yapı tasarımı için yapılarda alınması gereken aktif ve pasif yangından korunma önlemleri bir bütün olarak ele alınmalıdır. Şüphesiz ki doğru malzeme kullanması, uygulamanın işin ehli insanlar tarafından yapılması, uygulamanın eksiksiz kalite kontrol sürecine tabi olması gerekmektedir. Yangına karşı korunmanın bir zincir gibi ele alınıp, tüm en zayıf halka kadar güçlü olduğu unutulmamalıdır. Bu yaklaşım tüm bina geneline yansıtılmalı ve meydana gelen yangınlar değerlendirilerek cephelerin kompartımanlara ayrılması gibi yurt dışındaki uygulamalar dikkate alınarak mevzuatlar geliştirilmelidir.

Ayrıca Yönetmeliğin tam anlamıyla uygulandığını söylemek güçtür. Yüksekliği 28,5m'nin üzerinde olan binalarda en az zor yanıcı (A2-s1,d0) sistemlerin kullanılmadığı bir çok uygulama ile karşılaşılmaktadır. Hatta pencere kenarları ve üstünde bariyer uygulamasının oldukça sınırlı kaldığı söylenebilir. Dış cephede kullanılan ürünlerin üzerleri kapanana kadar uygun olup olmadığının tespit edilmesi çok kolay olmasına rağmen Yönetmelik hükümlerine uygun olmayan uygulamalarının bu denli yaygın olması bilgi eksikliğine işaret etmektedir. Bu sebeple gerek tasarımcıların gerekse de uygulayıcı ve denetim fonksiyonunun yürüten kişilerin eğitilmesi kritik öneme sahiptir.

## **KAYNAKLAR**

1. Türkiye Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik
2. WDV-Systeme zum Thema Brandschutz, Professional Association Thermal Insulation Composite Systems eV
3. Zhou, B., Yoshioka,H. Noguchi,T., Wang,K, Huang,X. 2021 New Understanding of Fire Spread on the EPS ETICS Façade, SFPE EUROPA Q2 2021 Issue 21.
4. DIN 55699: Anwendung und Verarbeitung von außenseitigen Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS) mit Dämmstoffen aus expandiertem Polystyrol-Hartschaum (EPS) oder Mineralwolle (MW)
5. Prof. Dr Vidaković B., The mechanism of fire spread across facade International Conference Energy in Buildings 2017
6. Türkiye Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik
7. Beyhan, F. 2018. Gaziosmanpaşa Taksim İlk Yardım Hastanesi Yangını Değerlendirme Raporu, 11.

## **KONUTLARDAKİ ISI YALITIM KALINLIĞININ ENERJİ TÜKETİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

Esra Kaçar<sup>1</sup>  
Sanem Şenler Özbil<sup>2</sup>

### **ÖZET**

*AB raporlarına göre binalar, toplam birincil enerji talebinin %40'ından ve enerji kaynaklı sera gazı emisyonlarının yaklaşık %36'sından sorumludur. Ülkemize ait 2022 yılı verileri incelendiğinde binaların, tüketilen enerjinin %32,7'sinden sorumlu olduğu görülmektedir. Binalarda tüketilen enerjinin ise %80'i ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılmaktadır. Isıtma ve soğutma sebebiyle tüketilen enerjinin yüksekliği göz önünde bulundurulduğunda, tüketim miktarlarının ekonomik ve çevresel etkilerinin düşürülmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Yapılardaki enerji tüketiminin düşürülmesindeki en büyük adımlardan biri ısıtma ve soğutma kaynaklı tüketimlerin azaltılmasına yönelik çalışmalardır. Tüketimlerin azaltılması için binalardaki ısı kayıp-kazançları engellenmelidir. Yapılardaki ısı geçişinin en yüksek olduğu alanlar dış cephelerdir. Dış cephelerdeki ısı geçişinin önüne geçmek ısı yalıtımıyla mümkünken, Türkiye'deki konutların çoğunluğunda ısı yalıtımı bulunmamaktadır. ETICS (dış cephe ısı yalıtım kompozit sistemleri), birden fazla katmandan oluşan, ısı kayıp ve kazançlarının önüne geçerek yapılarda termal konfor sağlamasıyla birlikte binalarda yüksek miktarda enerji tasarrufu sağlayarak CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılmasına da katkı sağlayan sistemlerdir. 2022 yılı verilerine göre, ısı yalıtım sistemleri uygulamasıyla yaklaşık 13-14 milyar dolarlık enerji tasarrufu sağlamak mümkündür. Bu sistemlerdeki levha kalınlıkları, TS 825 standardında belirtilen dört iklim bölgesinin U değerlerini karşılayacak şekilde belirlenir. Isı yalıtımında kilit rolü olan levhaların kalınlığı ile ısı dirençleri doğru orantılıdır. Levha kalınlığıyla birlikte ısı direncin artmasıyla yapıdaki ısı geçişleri azaltılır. Sonuç olarak, ısıtma-soğutma amacıyla gerçekleştirilen enerji tüketimi de azaltılmış olur. Bu bildirimde, ısı yalıtım kalınlıklarının yapı ve enerji tüketimi üzerine etkileri sunulmuştur.*

*Anahtar sözcükler: Isı Yalıtım Levhası Kalınlığı, Enerji Tasarrufu, TS 825*

### **ABSTRACT**

*According to EU reports, buildings are responsible for 40% of total primary energy demand and approximately 36% of energy-related greenhouse gas emissions. When Türkiye's 2022 data is examined, it is seen that buildings are responsible for 32.7% of the energy consumption. 80% of the energy consumption in buildings is used for heating and cooling purposes. Considering the high amount of energy consumption due to these purposes, there is a need to reduce the economic and environmental impacts of consumption amounts. One of the biggest steps in reducing the consumption is efforts to reduce consumption caused by heating and cooling. In order to reduce consumption, heat loss and gain in buildings should be prevented. Most of the heat transfer occurs on exterior facades. Preventing this on exterior facades is possible with thermal insulation. However, the majority of residences in Türkiye do not have thermal insulation. ETICS (exterior thermal insulation composite systems), is a system that consists of multiple layers, prevent heat losses and gains, provide thermal comfort, and contribute to reduction of CO<sub>2</sub> emissions by saving large amounts of energy in the buildings. According to 2022 data, it is possible to save approximately 13-14 billion dollars in energy through the application of ETICS. Board thicknesses used in these systems are determined to meet the U values of the four climate zones specified in the TS 825 standard. Thickness of the boards, which play a key role in thermal insulation, is proportional to their thermal resistance. As thermal resistance increases with board thickness, heat transfer in the structure is reduced. As a result, the energy consumption for heating and cooling is also reduced. In this paper, effects of thermal insulation thicknesses on structure and energy consumption are presented.*

*Key words: Thermal Insulation Board Thickness, Energy-saving, TS 825*

<sup>1</sup> e-posta adresi: esra.kacar@betek.com.tr

<sup>2</sup> e-posta adresi: sanem.senler@betek.com.tr

## 1.GİRİŞ

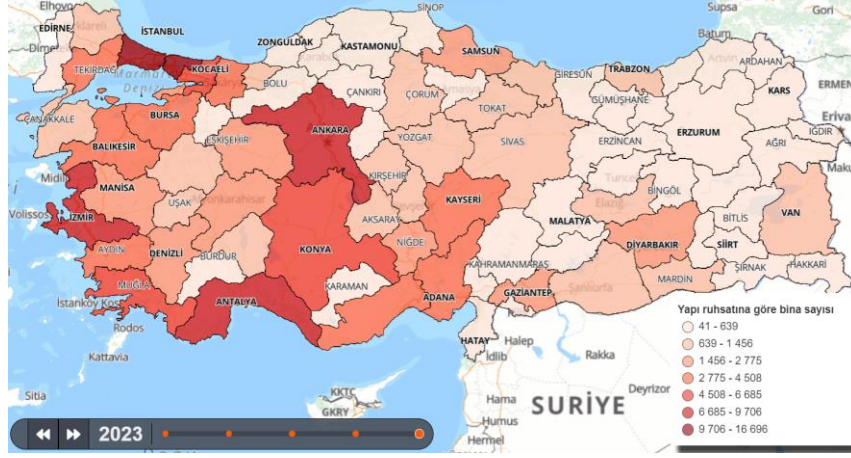
Enerji, farklı kaynakları ve üretim şekilleriyle tüm ülkeler için en temel konulardan biri konumunda bulunuyor. Enerji kaynağı olarak en yoğun şekilde kullanılan fosil yakıtlardan, geçtiğimiz yıllarda dünya üzerinde farklı oranlarda geçiş yapılan yenilenebilir enerji kaynaklarına kadar oldukça geniş bir yelpazede enerji üretimi gerçekleştiriliyor. Tarımdan sanayiye, taşımacılıktan konutlara kadar pek çok farklı alanda büyük ve sabit bir konumu bulunan enerjinin tüketimi de, küresel çapta ülkelerin odağında bulunan ve titizlikle ele alınan konulardan bir tanesidir.

Farklı sektörlerde farklı amaçlarla tüketilen enerjinin hem üretim hem de tüketim aşamasında özenle takip edilmesi gerekmektedir. Tüketilen enerjinin kontrolsüz olarak zamanla artması durumunda hem kullanılan kaynakların zaman içerisinde yeterli gelmemesi riski hem gereksiz tüketim nedeniyle oluşabilecek maliyetler hem de enerji üretimi ve tüketimi sırasında ortaya çıkabilen sera gazı emisyonları sebebiyle enerji tüketimleri pek çok sektörde detaylı biçimde incelenmektedir. Tüm bunlara karşın düzensiz bir biçimde artışta olan ve enerji tüketimlerinin kontrol altına alınmadığı sektör olarak konutlar ortaya çıkıyor. Kentlerin hızla büyümesine ve artan nüfusun ihtiyaçlarına yanıt olarak da konut sayılarında yıllar içerisinde bir artış olduğu gözleniyor. 2020’de yapılan bir araştırmaya göre Avrupa Birliği’ndeki toplam konut sayısı 119 milyon [1]. Ülkemizde de konut sayılarında yıllar içerisinde belirgin bir artış olduğu gözleniyor (**Şekil 1a, 1b**). Avrupa Komisyonu tarafından yayınlanan raporlara göre binalar, toplam birincil enerji talebinin %40’ından ve enerji kaynaklı sera gazı emisyonlarının yaklaşık %36’sından sorumludur. Bu verilerle birlikte bakıldığında, konut stokundaki bu yoğunluklar konutları, enerji tüketimi bakımından en yüksek yüzdeye sahip sektörlerden bir tanesi yapmaktadır.

Konutlarda tüketilen enerjinin yaklaşık %80’i ısıtma ve soğutma amacıyla kullanılmaktadır. Ülkemizde bulunan konutların yaklaşık %70’inden fazlasında ısı yalıtımı bulunmaması, ısı yalıtımı uygulamalarından bazılarında da doğru ısı yalıtım levha kalınlığı kullanılmaması sebebiyle konutlardaki ısı transferi kaynaklı oluşan enerji tüketimleri oldukça yüksek bir seviyededir. Bu çalışmada doğru ısı yalıtım uygulamaları ve levha kalınlıklarıyla, yapılarda ısıtma ve soğutma sebebiyle meydana gelen enerji tüketimlerinin nasıl azaltılabileceği incelenmektedir.



Şekil 1a: TÜİK – Yapı ruhsatına göre bina sayısı 2019 [2].

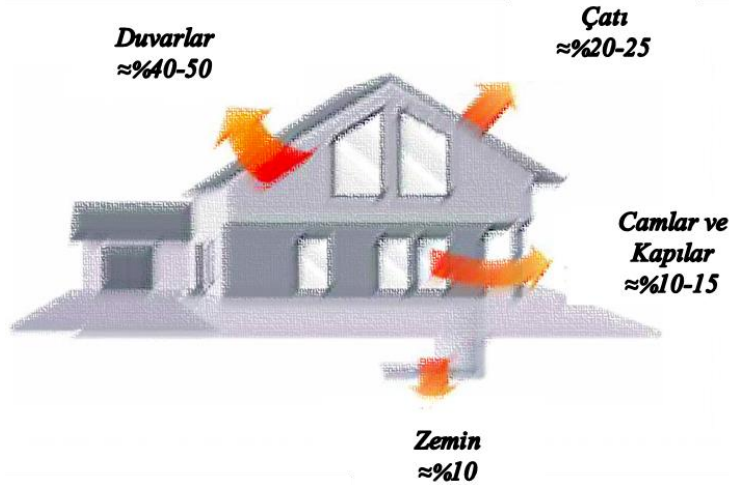


Şekil 1b: TÜİK – Yapı ruhsatına göre bina sayısı 2023 [2].

## 2. YAPILARDA ISI KAYIPLARI

Farklı ortamlar çoğu zaman farklı sıcaklık değerlerine sahiptir. Bu sıcaklık farklılıklarından dolayı iki ortam arasında bir ısı transferi gerçekleşir. Isı transferi sıcak ortamdan soğuk ortama doğrudur. Isı kondüksiyon, konveksiyon ve radyatif olmak üzere üç farklı şekilde transfer edilir. Geniş çapta yapı ve dış çevre düşünüldüğünde kış mevsiminde ısı, sıcak olan iç ortamdan dış ortama geçer. Yaz mevsiminde ise bu durum tersine döner. Sıcak olan ortam dış çevredir ve iç ortam soğuk tutulmaya çalışıldığı için ısı geçişi dış ortamdan iç ortama doğrudur. Daha kısa aralıklarla düşünüldüğünde gece ve gündüz arasında da ısı transferi farklı yönlerde doğru gerçekleşir. Özellikle karasal iklime sahip bölgelerde gece ve gündüz sıcaklık farkları yüksektir. Eğer doğru bir yalıtıma sahip değilse yapı, gece olduğunda yüksek derecede düşen sıcaklıklara bağlı olarak hızla soğuyabilir.

Isı transferi yapının her noktasında meydana gelebilir. Pencere, kapı, dış cephe, çatı, zemin vb. kısımlardan farklı oranlarda ısı transferi gerçekleşir. Duvarlar bir yapıdaki en büyük alanı kaplayan elemanlardır. Bu sebepten, yapıda gerçekleşen ısı transferinin büyük çoğunluğundan sorumlu olan kısım olarak duvarlar ortaya çıkmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2: Yapıdaki farklı elemanların ısı transferi üzerine etkisi bina yapısına göre değişkenlik gösterir.

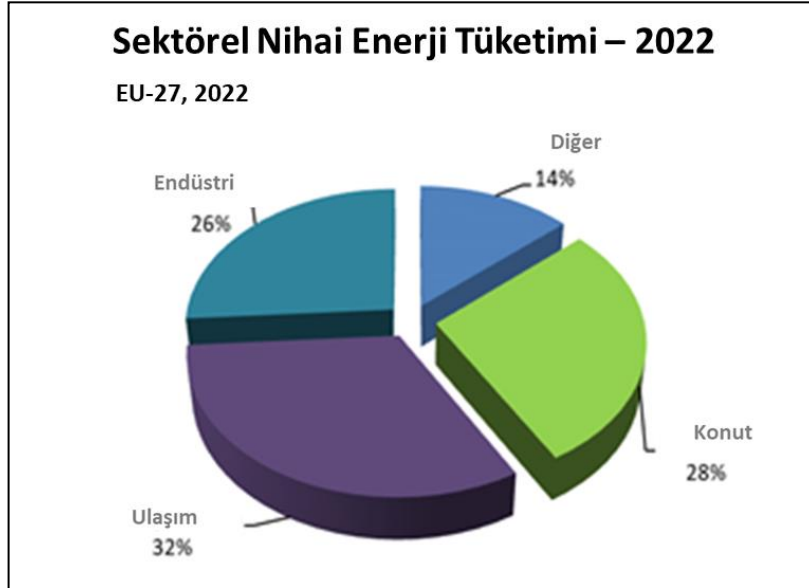
Yapının ısı kaybıyla veya kazancıyla bağlantılı olarak konutlarda farklı önlemler alınır. Kış döneminde iç ortam sıcaklığını ve termal konforu muhafaza etmek amacıyla yapıda ısıtma kaynağı üzerinden yüksek miktarda enerji harcanması gerekebilir. Bu harcamalar bölgeden bölgeye iklim özelliklerine göre değişiklik gösterebilir. Ancak ısı transferi Türkiye’deki tüm yapılarda ve farklı oranlarda da olsa gerçekleşir. Isı transferinin önüne geçmek hem ısıtma veya soğutma için yapılan harcamaların azaltılmasına hem iç ortam konforunun muhafaza edilmesine hem de yapı sağlığının korunmasına destek olmaktadır.

### 3. KONUTLARDA ENERJİ TÜKETİMİ

#### 3.1. Avrupa Birliği’nde Enerji Tüketimi

119 milyon konut sayısı ve barındırdığı enerji talebi sebebiyle konutlardaki enerji tüketimleri konusu, Avrupa Birliği için en kritik konulardan bir tanesi konumunda bulunmaktadır. Konutların enerji taleplerine cevap vermek ile birlikte, bu enerji taleplerini karşılarken hem enerji üretiminde hem de tüketiminde çevreye olan etkilerinin azaltılması hususu da Avrupa Birliği’ndeki temel çalışma alanlarından bir tanesidir.

Özel olarak 2022 yılı verilerine göre Sektörel Final Enerji Tüketimleri’nin %28’inden sorumlu olan sektör olarak konutlar ortaya çıkmaktadır (**Şekil 3**). 2050 yılındaki sıfır CO<sub>2</sub> hedefine ulaşmak ve Paris İklim Anlaşması hedeflerine daha uyumlu olmak için, AB’de tüm sektörleri kapsayacak şekilde, “*fit for 55*” paketine göre, 1990 yılı verileri baz alınarak, 2030 yılına kadar %55 sera gazı emisyonu azaltımı ve dolayısıyla %30’dan fazla enerji tasarrufu sağlanması hedefi bulunmaktadır [3].

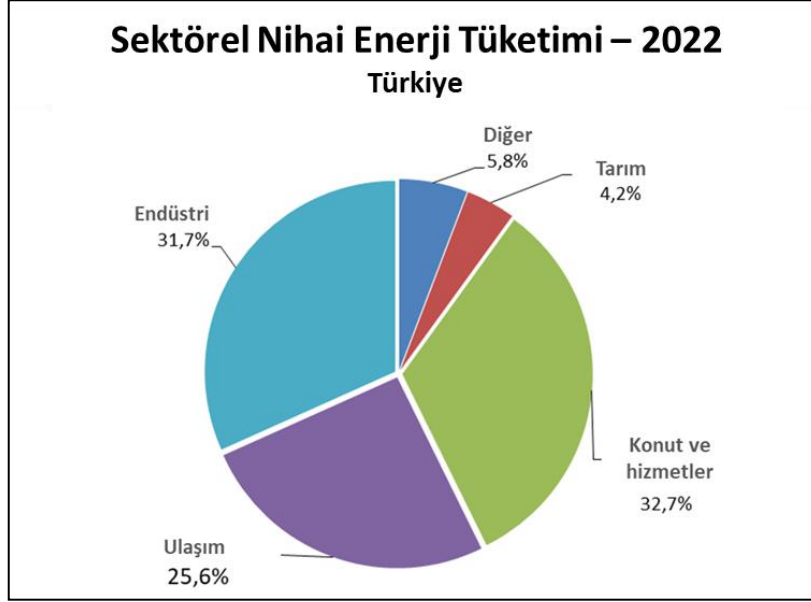


**Şekil 3:** AB - Sektörel Final Enerji Tüketimleri (2022).



### 3.2. Türkiye’de Enerji Tüketimi

Günden güne artan nüfus ve konut sayısıyla, yapılardaki enerji tüketimlerinin, Türkiye’deki farklı sektörlerle ait enerji tüketimleri arasında ön plana çıktığı görülmektedir. 2022 yılına ait Türkiye Sektörel Final Enerji Tüketimleri grafiği incelendiğinde, enerji tüketimlerinin %32,7’sinin binalara ait olduğu ortaya çıkmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4: Türkiye - Sektörel Final Enerji Tüketimleri (2022).

Enerji tüketimleri ve sera gazı emisyonları sebebiyle uzun yıllardır dikkatleri üzerinde bulunduran sanayi sektöründen bir puan daha yüksek enerji tüketimine sahip olan konut sektöründe, enerji harcamaları ve çevreye etkileri üzerinde günümüzde yavaş yavaş yoğunlaşmaya başlanmıştır. Enerji sınıfı iyileştirilmiş ürünlerin, ısı geçirimsizliği düşürülmüş camların veya yüksek performanslı ve doğru ısı yalıtım ürünlerinin kullanılması gibi konularla başlayan enerji tasarrufu çalışmalarının etkisinin görülmesiyle birlikte, yapıda daha kapsamlı çalışmaların yapılması gerekliliği de gözler önüne serilmiştir.

Yapılarda daha büyük alanı kaplayan duvarlarda ısı yalıtımı yapılmasının önemi, hem enerji tüketimi sektör payından (%32,7) hem de Türkiye’deki yapıların %70’ten fazlasında ısı yalıtımı bulunmamasından görülebilir. Isı yalıtımı yapılan binaların bir kısmında ise doğru ısı yalıtım uygulaması veya doğru ısı yalıtım levhası kalınlığı kullanımı gözlenmediği için yapılardan kaynaklanan ısı transferi kaynaklı enerji tüketimlerinde belirgin bir azalma da gözlenmiyor.

## 4. DIŞ CEPHE ISI YALITIMI

### 4.1. Isı Yalıtım Malzemesi

Yapılarda kullanılan malzemelerin her birinin farklı ısı iletkenlik hesap değeri bulunmaktadır. Tuğlanın ısı iletkenlik değeri 0,19-1,40 W/mK veya betonun (donatısız/donatılı) ısı iletkenlik

değeri 1,65-2,50 W/mK olarak karşımıza çıkmaktadır [4]. Bir malzemenin ısı yalıtım malzemesi olması için ise ısıl iletkenlik değerinin 0,065 W/mK'den düşük olması gerekmektedir . Isıl iletkenlik hesap değeri malzemenin ısı iletiminin bir ölçüsüdür ve her malzeme için farklılık gösterir. **Çizelge 1**'de ısı yalıtım sistem uygulamalarında kullanılan taşıyıcı ve EPS gibi levhalara ait ısıl iletkenlik hesap değerleri verilmiştir. Ürünlerin karakteristik özelliklerinden biri olan ısıl iletkenlik hesap değeri, ısı yalıtım malzemesinin doğası gereği farklı bir yelpaze içinde değişmektedir.

**Çizelge 1:** Yapı malzemelerine ait ısıl iletkenlik değerleri (\*Dalmaçyalı Double Carbon EPS)[5].

Isı Yalıtım Malzemesi	Isıl İletkenlik Hesap Değeri (W/mK)
Taşıyıcı	0,035-0,050
EPS - Genleştirilmiş Polistiren Köpük	0,031* - 0,040
XPS - Ekstürüde Polistren Köpük	0,030-0,040
PUR- Poliüretan Sert Köpük	0,025-0,040
Camyünü	0,035-0,050

Düşük ısıl iletkenlik değerlerine sahip olan ısı yalıtım malzemeleri, ısı transferine engel olarak yapıda gerçekleşecek olan ısı kayıp veya kazançlarının önüne geçer. Isı yalıtım uygulamaları ile desteklenen dış cephe ile hem yaz, hem kış döneminde iç ortam koşulları daha düşük enerji harcamalarıyla korunmuş olur. Isı transferinin azaltılmasında ısı yalıtım levhasının ısıl iletkenlik değeri önemlidir. Ancak yapının bulunduğu bölgeye uygun ısı yalıtım levha kalınlığının uygulanması, asıl enerji tasarrufunun sağlanması konusunda kritik rol oynayan konudur.

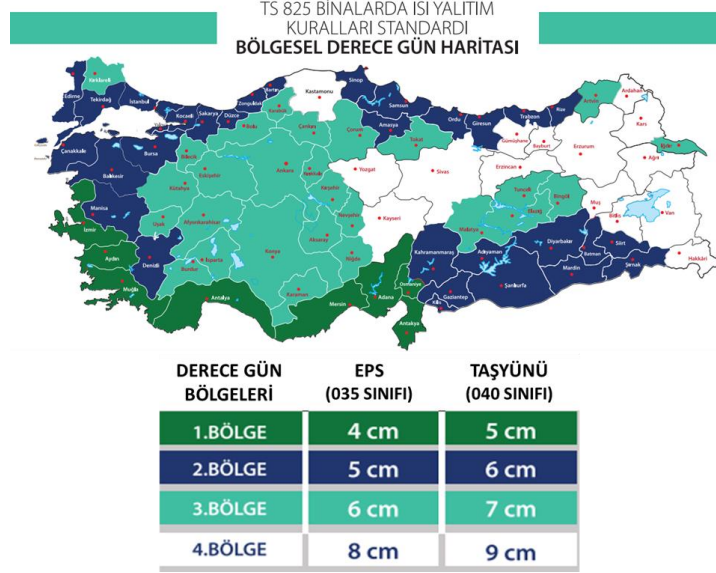
#### 4.2. Isı Yalıtım Levha Kalınlıkları

Isıl iletkenlik değeri bir malzemenin her noktasında ve her kalınlığında aynıdır. Bir yapıda dış cephe ısı yalıtım uygulamasıyla sağlanacak fayda ise ısıl direnç değeri ile ortaya çıkmaktadır. Değişmeyen ısıl iletkenlik değerine karşın, ısıl direnç değeri kalınlıkla doğru orantılı olarak değişmektedir. Bir malzemenin kalınlığı arttıkça ısıl direnç değeri (R) artmaktadır.

$$R = \frac{d}{\lambda_h} \quad \begin{array}{l} R : \text{Isıl direnç (m}^2 \cdot \text{K/W)}, \\ d : \text{Yapı malzemesinin kalınlığı (m)}, \\ \lambda_h : \text{Yapı malzemesinin Isıl iletkenlik hesap değeri (W/m.K)} \end{array} \quad (1)$$

Isıl direnç, bir malzemenin ısıyı iletmeye karşı gösterdiği dirence verilen isimdir. Bu direnç değeri arttıkça ısının içeriden dışarıya veya dışarıdan içeriye akması zorlaşır. Bu da yapının ısı kaybetmesinin önüne geçmek için en etkili yöntem olarak görülmektedir.

Türkiye'nin farklı bölgelerinde farklı iklim koşulları gözlenmektedir. Değişen iklim koşullarına bağlı olarak da yapılarda gerçekleşmesi beklenen ısıma veya soğuma miktarı da farklıdır. Bu sebepten her bölgeye ve yapıya uygun olacak şekilde ısı yalıtım levhası kalınlığı belirlenmeli ve uygulanmalıdır. Düşük kalınlıklarda yapılan uygulamalar ile belli seviyelerde tasarruf sağlanması elbette mümkündür. Ancak tam performans sağlanması, enerji harcamalarını belirgin ölçüde azaltması için her bölgede belirlenen uygun ısı yalıtım levha kalınlıklarının uygulanması gerekmektedir (**Şekil 5**).

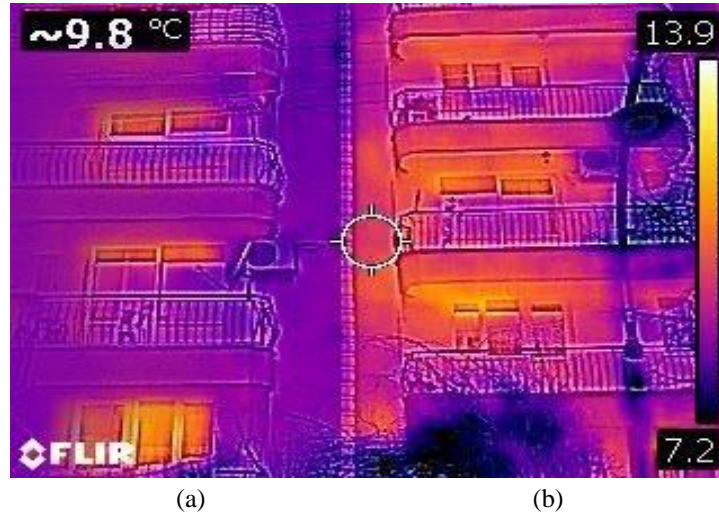


Şekil 5: TS 825'e göre bölgelerde kullanılması gereken ısı yalıtım levha kalınlıkları.

#### 4.3. Dış Cephe Isı Yalıtım Sistemleri ve Enerji Tüketimi

Dış cephelerdeki ısı yalıtım uygulamaları sistem olarak gerçekleştirilir ve bu sistemler Dış Cephe Isı Yalıtım Kompozit Sistemleri (ETICS) olarak adlandırılır. Dış cephe ısı yalıtım uygulamalarında hem doğru malzemelerin seçilmesi hem de doğru uygulamanın yapılması yüksek önem taşımaktadır. Doğru levha kalınlığı ve doğru sistem uygulaması hem yapıların elemanlarının hem de yapının tümünün performansını önemli ölçüde etkiler. ETICS, cepheyi dıştan kaplayarak yapı elemanlarının termal performansını olumlu yönde etkiler.

Doğru malzeme ve doğru uygulama ile gerçekleştirilen dış cephe ısı yalıtımının farkı Şekil 6'da görülmektedir. Termal kamera çekimi yapılan ve bitişik olan iki binadan birinde (b) dış cephe ısı yalıtım sisteminin doğru ve yeterli uygulanmadığı, ısı geçişinin yoğun olduğu alanlar (sarı-turuncu) aracılığıyla net bir şekilde görülebilmektedir.



Şekil 6: İki farklı yapıdan alınan termal kamera görüntüsü.

Isı yalıtım levhalarının kalınlıklarının artmasıyla, **Şekil 6**'daki termal kamera görüntüsünün de örnek oluşturduğu gibi, yapının ısı kaybı azaltılacaktır. Isı kaybının azaltılmasıyla birlikte yapının mevcut durumunu korumak için tüketilmesi gereken enerjide de düşüş gözlenir. Bu sayede yaz döneminde soğutmadan, kış döneminde ısıtmadan kaynaklanan enerji tüketimlerinde düşüş gözlenir.

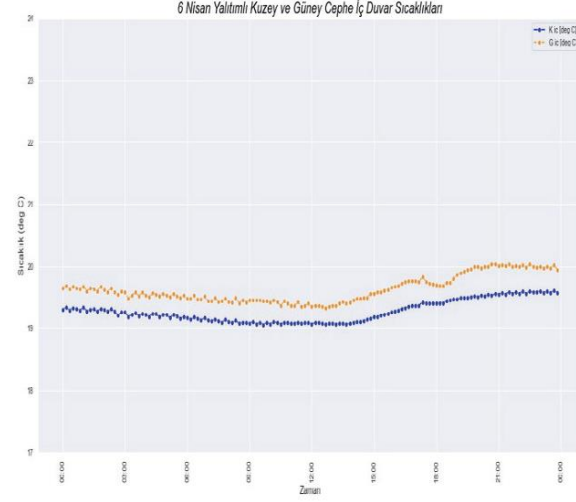
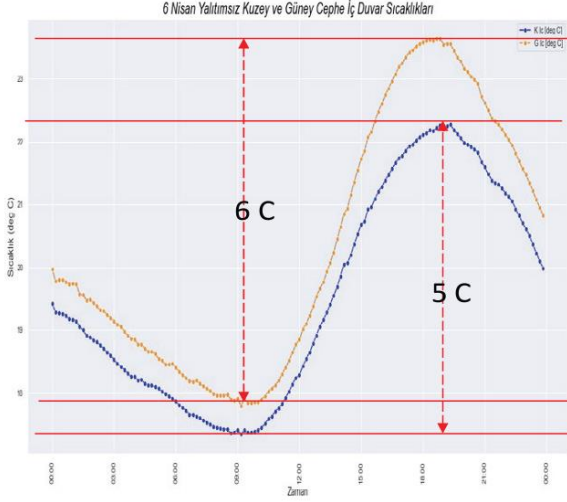
#### 4.4. Isı Yalıtımının İnsan Sağlığına Etkisi ve Termal Konfor Projesi

Isı yalıtımının sağlık ve termal konfor alanları üzerindeki etkilerinin araştırılması amacıyla Ocak 2022'de başlatılan ve Dalmaçyalı tarafından yürütülen "Isı Yalıtımının İnsan Sağlığına Etkisi ve Termal Konfor" projesi kapsamında Gebze'de iki adet test evi (**Şekil 7**) inşa edilmiştir. Evlerden bir tanesi ısı yalıtımsız olarak tasarlanmış, diğeri de Dalmaçyalı İleri Isı Yalıtım Sistemi ile ısı yalıtımlı olarak tasarlanmıştır. TS 825'e göre Gebze'de minimum uygulanması gereken ısı yalıtım levhası kalınlığı 5 cm'dir. Bu proje kapsamında ısı yalıtım levha kalınlığının da etkisinin daha belirgin şekilde görülmesi amacıyla 12 cm kalınlığında ısı yalıtım levhası kullanılmıştır. Test evlerinden hem kış hem de yaz döneminde, iç ve dış ortamdan sürekli olarak veri alınmıştır. Termal konfor, enerji harcamaları vb. parametrelerin ölçüldüğü test evlerinden alınan veriler karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Proje, İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Meteoroloji Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Mikdat KADIOĞLU ve Marmara Üniversitesi (MÜ) Tıp Fakültesi Çocuk Göğüs Hastalıkları Bilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Bülent KARADAĞ danışmanlığında yürütülmüştür.



**Şekil 7:** Dalmaçyalı İleri Isı Yalıtım Sistemi ile ısı yalıtımlı yapılmış ev ve ısı yalıtımsız ev.

Termal Konfor; kişilerin sıcaklık, nem, hava akımı gibi iklim koşulları açısından gerek bedensel gerekse zihinsel faaliyetlerini sürdürürken belli bir rahatlık içinde bulunmaları durumudur. Bu konfor durumu, ortamın mevcut koşullarının mümkün olduğunca uzun süre korunmasına bağlı olarak devam etmektedir. Mevcut koşullardaki değişimlerin ısı yalıtımsız evlerde çok daha yüksek seviyede gerçekleştiği **Şekil 8**'de görülebilmektedir.



**Şekil 8:** Isı yalıtımlı ve ısı yalıtımsız evlerin 6 Nisan 2022 tarihine ait kuzey ve güney cephe iç duvar sıcaklıklarına ait grafik incelemesi [6].

Isı yalıtımsız evde iç duvar yüzey sıcaklıklarındaki değişim 6 °C'leri bulurken, ısı yalıtımlı evde bu farkın 1 °C'ye bile ulaşmadığı gözlenmiştir (**Şekil 8**). Sıcaklık değişimleri arasında yaklaşık olarak 7.5 katlık bir fark oluşmuştur. Farklı durum incelemelerinden bir tanesi olarak ısıtma yapılmayan bir dönem incelendiğinde, ısı yalıtımsız evin ısı yalıtımlı eve oranla yaklaşık 2,3 kat daha hızlı soğuduğu gözlenmiştir. Bu da ısı yalıtımsız evlerdeki ısı kayıplarının yüksekliğini bir kez daha kanıtlamaktadır.

Isı yalıtımsız evde, ısı kayıplarının yoğun olarak gerçekleştiği ısı köprüleri olan alanlarda küf ve rutubet oluşumu gözlenmiştir. Bu alanlarda enfeksiyonlara karşı yatkınlığa sebep olan, alerjik reaksiyonları kolaylaştıran ve iç ortam hava kalitesini bozan bir mantar çeşidinin ürettiği de Prof. Dr. Bülent KARADAĞ tarafından belirtilmiştir. Buna karşın, ısı yalıtımı uygulaması yapılmış olan evde rutubet ve küf sorunlarının gözlenmediği, küf ve rutubet oluşumundaki ana faktörün ısı yalıtımı yapılmaması olduğunun belirlendiği de vurgulanmıştır.

Proje boyunca aynı durumların karşılaştırılmalı olarak araştırıldığı iki test evindeki 7 aylık veriler incelendiğinde, yalıtımlı evde yaklaşık 511 kWh, ısı yalıtımsız evde ise yaklaşık 1269 kWh enerji tüketildiği gözlenmiştir. Bu veriler ışığında, proje danışmanlarından olan Prof. Dr. Mikdat KADIOĞLU'nun belirttiği temel çıktılardan biri de, 12 cm dış cephe ısı yalıtım sistem uygulaması yapılan yalıtımlı evde yalıtımsız eve oranla %60'a varan enerji tasarrufu sağlandığıdır. Test evlerinde aynı zamanda iç ortam kalitesinin göstergelerinden biri olan termal konfor incelenmesi yapılmış, ısı yalıtım uygulaması yapılan enerji tasarrufuyla birlikte yüksek oranda termal konfor da sunduğu gözlenmiştir.

## 5. SONUÇLAR

Hem Avrupa'da hem de Türkiye'de yapılar, enerji tüketimi bakımından oldukça yüksek bir hacmi oluşturmaktadır. Özellikle yapılardaki ısıtma ve soğutma amacıyla gerçekleştirilen enerji tüketimlerinin de, genel tüketim içinde payının oldukça yüksek olduğu gözlenmektedir. Isı transferi sebebiyle gerçekleşen enerji kayıp ve kazancını dengelemek amacıyla yapılan enerji

tüketimlerinin azaltılmasının da en etkili yolunun doğru ısı yalıtım levha kalınlığı ile yapılmış dış cephe ısı yalıtım sistem uygulamaları olduğu söylenebilir.

Levha kalınlığının artmasına bağlı olarak ısı yalıtım direnci de artış gösterir. Isı transferine gösterilen dirence bağlı olarak da yapılardaki ısı kayıpları minimize edilir. Isı yalıtımının, hem fiziksel sağlığı hem de zihinsel faaliyetleri önemli ölçüde etkileyen önemli bir kavram olan termal konforun sürdürülebilirliği üzerindeki etkileri de bu çalışmayla belirlenmiştir. Ortamın termal konforunun daha uzun süre muhafaza edilmesine bağlı olarak da ihtiyaç duyulan enerji miktarı azalır, daha konforlu bir yaşam imkanı sağlanır. Sonuç olarak yapılardaki enerji tüketimlerinin de azaldığı gözlenebilir. Doğru ısı yalıtımı yapılmış evlerde enerji tüketiminin ve ihtiyacının azalmasıyla birlikte, enerji harcaması kaynaklı sera gazı salımının da azaltılması ve termal konforlu yaşamın sağlıkla sürdürülebilmesi sağlanabilir.

## KAYNAKLAR

1. Energy efficiency of the building stock in the EU. (2020, Temmuz 31). RICS. <https://www.rics.org/news-insights/energy-efficiency-of-the-building-stock-in-the-eu>
2. TÜİK - Yapı ruhsatına göre bina sayısı. (2023). TÜİK. <https://cip.tuik.gov.tr/>
3. European Commission. (n.d.). 2030 Targets. [https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/overall-targets-and-reporting/2030-targets\\_en](https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/overall-targets-and-reporting/2030-targets_en)
4. TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ. (2008, Mayıs). *TS 825 - BİNALARDA ISI YALITIM KURALLARI* (ICS 91.120.10).
5. İZODER. (2013). *İNŞAAT TEKNOLOJİSİ ISI YALITIMI*. <https://www.izoder.org.tr/dosyalar/Bina-ve-Tesisatta-Isi-Yalitimi.pdf>
6. Isı Yalıtımının İnsan Sağlığına Etkisi ve Termal Konfor Araştırması Faz-1. (2023, Nisan). Dalmacyali. [https://res.cloudinary.com/filli-boya-kurumsal-web-sitesi/image/upload/v1708602533/dalmacyali-web/DALMACYALI\\_SAGLIK\\_EVLERI\\_2023\\_5571cac0cf.pdf](https://res.cloudinary.com/filli-boya-kurumsal-web-sitesi/image/upload/v1708602533/dalmacyali-web/DALMACYALI_SAGLIK_EVLERI_2023_5571cac0cf.pdf)

## **TÜRKİYE VE AVRUPA BİRLİĞİ ÜLKELERİNDE BİNALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ STRATEJİLERİ**

Timur Diz<sup>1</sup>  
Beyza Tanyol<sup>2</sup>  
Yiğit Kaan Aktaş<sup>3</sup>  
İZODER Isı Su Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği  
Ümraniye, İstanbul, 34775

### **ÖZET**

*Enerji tüketiminin zamanla artması sera gazı salımlarının da artmasını beraberinde getirmekte ve çevresel yükümlülüklerin yerine getirilmesini zorlaştırmaktadır. Ülkemiz ve AB ülkeleri; artan enerji maliyetleri, enerjide dışa bağımlılık, çevresel hedefler içeren uluslararası antlaşmalara taraf olunması vb. etkenler dolayısıyla benzer sorunlar ile karşı karşıyadır. Buna karşılık sorunların çözümü için yapılan uygulamalar dikkate alındığında ülkemizin enerji kaynakları sınırlı olmasına rağmen enerji verimliliği ile ilgili gerekli adımların yeterince hızlı bir şekilde atılmadığı ifade edilebilir.*

*Bu bildiride 'Binalarda Enerji Verimliliği' konusunda Avrupa Birliği ve Türkiye'deki strateji ve mevzuatlar karşılaştırılarak ülkemiz için öneriler geliştirilmiştir.*

*Anahtar Kelimeler: Enerji Verimliliği, Mevzuat, Enerji Verimliliği Stratejileri*

### **ABSTRACT**

*Increasing energy consumption over time brings about an increase in greenhouse gas emissions and makes it difficult to fulfill environmental obligations. Our country and EU countries; It faces similar problems due to factors such as increasing energy costs, dependence on foreign sources of energy, being a party to international agreements containing environmental targets, etc. On the other hand, when the applications made to solve the problems are taken into consideration, it can be stated that although our country's energy resources are limited, the necessary steps regarding energy efficiency are not taken quickly enough.*

*In this paper, recommendations have been developed for our country by comparing the strategies and legislations in the European Union and Turkey on 'Energy Efficiency in Buildings'.*

*Key Words: Energy Efficiency, Legislation, Energy Efficiency Strategies*

---

<sup>1</sup> e-posta adresi: timur@izoder.org.tr

<sup>2</sup> e-posta adresi: beyza@izoder.org.tr

<sup>3</sup> e-posta adresi: kaan@izoder.org.tr

## 1. GİRİŞ

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından açıklanan 2021 yılı Enerji Dengesi raporunda yer alan istatistikler, ülkemizde enerji tüketiminin yaklaşık 2020 yılına göre %9,1'lik artışla 123,1 milyon TEP olarak gerçekleşmiştir. Sektörlere göre enerji tüketimi incelendiğinde konut ve hizmet sektörlerinden oluşan Bina sektörünün yaklaşık %31,1'lik bir payla öne çıktığı görülmektedir [1]. Enerji kaynaklarına sahip olan ülkelerdeki politik istikrarsızlar, Rusya ile Ukrayna arasındaki savaş gibi nedenler hem enerji arzında problemlere hem de enerji maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Ülkemizde 2020 eylül ayında en düşük 39,30 dolar, en yüksek 46,22 dolardan alıcı bulan Brent petrolün varil fiyatı, 2021 eylül ayında en düşük 70,42 dolardan işlem gördü [2]. Enerjisinin yaklaşık %70,7'sini ithal eden ülkemizde TÜİK ve Ticaret Bakanlığı tarafından oluşturulan geçici dış ticaret istatistiklerine göre 2021 yılı enerji ithalatı: 50,7 milyar \$ olarak gerçekleşirken 2022 yılında toplam enerji ithalatı 96,5 Milyar \$ olarak gerçekleşmiştir. Öte yandan enerji dış ticaret açığı 2021'de 42,4 milyar dolar seviyesinden 2022 yılında 81,1 milyar dolara çıkarak tarihi yüksek seviyeye ulaşmıştır. Enerji açığındaki söz konusu yükseliş, enerji ihracatındaki belirgin artışa karşın enerji ithalatının neredeyse iki katına çıkması sonucu gerçekleşmiştir. Enerji ithalatının milli gelire oranı 2013-2021 yılları arasında ortalama yüzde 5 olarak gerçekleşirken, 2022 yılı üçüncü çeyreği itibarıyla yıllara göre tarihi yüksek seviye olan %11'e yükselmiştir [3].

Enerji fiyatlarındaki artışlar, yalıtımsız binalarda yaşayan hane halkının yüksek faturalar ile karşılaşması sonucu doğurmaktadır. Enerji ithalatına ayrılan onca kaynağa rağmen TÜİK tarafından 6 Mayıs 2022 tarihinde yayımlanan “Gelir ve Yaşam Koşulları Araştırması”na göre, konutlarda yalıtımsızlık dolayı ısınamama en çok karşılaşılan konut ve çevre problemi olarak öne çıkmaktadır. Raporda kurumsal olmayan nüfusun %34,3'ü konutunda izolasyondan dolayı ısınma sorunu, %33,9'u sızdıran çatı, nemli duvarlar, çürümüş pencere çerçeveleri vb. problemleri yaşarken, %23,4'ü trafik veya endüstrinin neden olduğu hava kirliliği, çevre kirliliği veya diğer çevresel sorunlarla karşı karşıya kaldığını ortaya koymaktadır. [4] Enerji tüketiminin zamanla artması, sera gazı salımlarının da artmasını beraberinde getirmektedir. Ülkemizin sera gazı salım değerleri, 2021 yılında toplam sera gazı emisyonu bir önceki yıla göre %7,7 artarak 564,4 milyon ton CO<sub>2</sub> eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. Kişi başı toplam sera gazı emisyonu 1990 yılında 4 ton CO<sub>2</sub> eşdeğer, 2020 yılında 6,3 ton CO<sub>2</sub> eşdeğer ve 2021 yılında 6,7 ton CO<sub>2</sub> eşdeğer olarak hesaplanmıştır [5]. Buna karşılık 2016 yılında taraf olunan Paris Anlaşması uyarınca, Türkiye, ulusal katkı niyet beyanında 2030 itibarıyla sera gazı emisyonlarını mevcut durumdan %21'e kadar azaltacağını beyan etmiştir [6]. Şarm El Şeyh'de gerçekleşen 27. Taraflar Konferansı Üst Düzey Bakanlar Zirvesi'nde Türkiye, Ulusal Katkı Beyanı hedefini 2030 yılı için %21'den %41'e yükseltmiştir.

AB'de “Konut” ve “Hizmet” sektörlerinden oluşan “Bina” sektörü toplam enerji tüketiminin %40,3'ünden sorumludur. AB'de enerjinin yaklaşık %55-58'i birlik dışından temin edilmektedir. AB'nin enerji bağımlılığının azaltılması ve sera gazı salımlarına dair taahhüdünün yerine getirilmesi için “bina” sektöründeki enerji tüketiminin azaltılması ve tüketimde yenilenebilir enerjinin payının artırılması gereklidir. Özetle; Türkiye ve AB'nin sorunları benzerlikler göstermektedir. Hem AB hem de Türkiye sahip oldukları enerji kaynakları ihtiyaçlarını karşılayamamakta ve enerjide dışa bağımlı olup, nihai enerji tüketiminde bina sektörünün önemli bir paya sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadeleye yönelik farklı da olsa taahhütlerde bulunmuşlardır. Öte yandan AB iklim koşulları dikkate alındığında 4 mevsimi yaşayan ülkemiz ile benzerlikler taşımaktadır. Güney Avrupa'da sıcak iklim koşulları hüküm sürerken, Kuzey Avrupa, Doğu Anadolu'ya benzer soğuk iklim kuşağındadır. Hem ülkemizin hem de AB'nin Akdeniz, Ege ve Karadeniz'e kıyıları bulunmaktadır. Son olarak



Türkiye ve AB arasında 2/95 sayılı Ortak Konsey Kararı dolayısıyla teknik müktesebatın uyumlaştırılmasına yönelik bir anlaşma da mevcuttur. Dolayısıyla aynı sorunlara sahip yakın coğrafyamızda yer alan AB, oluşturulan politikalar ve alınan tedbirler yönüyle ülkemize ışık tutma potansiyeline sahiptir.

## 2. TÜRKİYE VE AB'DE MEVZUATLAR

Mevzuatları dikkate aldığımızda AB'de binalarda enerji verimliliğinin iyileştirilerek karbon salımlarının ve iklim değişikliğine olan etkilerinin azaltılması amacıyla 2002 yılında 2002/91/EC sayılı Binalarda enerji performansı direktifi yayımlanmıştır. Türkiye'de 2002/91/EC sayılı direktif Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği'nin yayımlanmasıyla 05 Aralık 2008 tarihinde uyumlaştırılmıştır. Bu yönetmelikle 01 Ocak 2011'den itibaren yeni binaların Enerji Kimlik Belgesi alması zorunlu hale getirilmiştir. 2008 yılı referans alındığında enerji limitleri aynı olmamakla birlikte Türkiye ve AB aynı yasal altyapıyı hayata geçirmiştir. AB, ilk olarak 20/20/20 hedefleri çerçevesinde enerji verimliliğinde en az %20 iyileştirilmeye yönelik politika ve Binalarda Enerji Performansı Direktifi ile desteklenen birçok eylem gerçekleştirip bu hedefi büyük ölçüde başarmıştır. Ardından 2030 yılı için %32,5'lük yeni bir hedef belirlemiştir. Son olarak AB'de 2050 yılına kadar Karbon Nötr Kıta olma hedefi tanımlamış ve bu hedef doğrultusunda birçok faaliyet başlatılmıştır.

Ülkemizde de benzer amaçla Yüksek Planlama Kurulu tarafından 25 Şubat 2012 tarih ve 28215 sayılı resmi gazetede “Enerji Verimliliği Strateji Belgesi: 2012- 2023” yayımlanmıştır. Bu belge ile 2023 yılında Türkiye'nin GSYİH\* başına tüketilen enerji miktarının (enerji yoğunluğunun) 2011 yılı değerine göre en az %20 azaltılması hedeflenmektedir [7]. Bu hedefe ulaşmak için bina sektörüne özel olarak tanımlanan eylemlerden bir tanesi de aşağıda verilen “Binalara azami enerji ihtiyacı ve azami emisyon sınırlaması getirilmesi” eylemidir (SA-02/SH-01/E-01). Bu eyleme dair yapılan açıklamada TS 825 Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları Standardı'nın ve yürürlükteki mevzuatın, 36 ay içerisinde AB uygulamaları dikkate alınarak revize edilmesi ile ilgili bir stratejik eylem planlanmış ancak, henüz gerçekleştirilememiş veya tamamlanamamıştır. “Enerji Verimliliği Strateji Belgesi: 2012-2023” kapsamında tanımlanan hedeflere ulaşılmasını desteklemek amacıyla Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayımlanan Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı: 2017- 2023 metninde TS 825 standardının ısıtma dışındaki diğer alanlarda kullanılan enerji ihtiyacını ve uygulamaya yönelik yönergeleri içerecek biçimde güncelleneceği ifade edilmektedir.

### 2.1. U Değeri: Isıl Geçirgenlik Katsayısı

TS 825 standardının 2013 yılında revize edilmiş olsa da, standartta yer alan bazı hatalar dolayısıyla halen standardın 2008 yılında yayımlanan versiyonu zorunlu olarak yürürlükte tutulmaktadır. Dolayısıyla; ülkemizde 2008'den bu yana enerji verimliliği anlamında herhangi bir iyileştirme yapılamazken Avrupa Birliği birçok adım atmıştır.

Enerji limitlerini doğrudan etkileyen en önemli parametrelerden birisi “U” değerleridir. U değeri; çatı, duvar, döşeme ve pencere gibi yapı elemanlarının ne kadar ısı geçirdiğinin ölçüsüdür. Yapı elemanlarının U değerleri azaldıkça kümülatifte binanın ısıtma/soğutma için ihtiyaç duyduğu enerji miktarı azalmaktadır. Buradan hareketle yapı elemanları için tanımlanan asgari ısı geçirgenlik “U” değerlerini mukayese ettiğimizde, TS 825 standardında ülkemiz için tanımlanan değerlerin birçok AB üyesinin çok gerisinde kaldığı ortaya çıkmaktadır. Aşağıda ülkemizdeki ve AB'deki bazı ülkelerin “U” değerleri ile karşılaştırılmıştır.

---

\* Gayri Safi Yurt İçi Hasıla

**Çizelge 1:** Bazı AB ülkeleri ile Türkiye’deki “U” değerleri çizelgesi

Ülke	U Duvar	U Tavan	U Döşeme	U Pencere
<b>Türkiye</b>	<b>0,40-0,70</b>	<b>0,25-0,45</b>	<b>0,40-0,70</b>	<b>2,40</b>
Almanya	0,24-0,35	0,20-0,35	0,50	1,30-1,90
Avusturya	0,35	0,20	0,40	1,40
Belçika	0,24	0,24	0,24	1,50
Danimarka	0,18-0,30	0,12-0,20	0,10-0,20	1,40-1,80
Fransa	0,35-0,45	0,22-0,30	0,21	1,90
Finlandiya	0,17	0,09-0,15	0,09-0,17	1,14-1,00
İngiltere	0,18	0,13	0,13	1,40
İtalya	0,24-0,34	0,20-0,33	0,24-0,38	1,10-2,20
İspanya	0,37-0,49	0,33-0,40	0,37-0,49	-
Litvanya	0,20	0,16	0,25	1,60
Hollanda	0,20	0,20	0,20	1,65
Norveç	0,18	0,13	0,10	1,20 - 0,80
Polonya	0,25	0,20	0,25	1,30
Çekya	0,30	0,24	0,45	1,50
Almanya	0,28	0,20	0,35	1,30
Slovakya	0,32	0,20	0,40	1,40
İsveç	0,18	0,13	0,15	1,30
Macaristan	0,45	0,25	0,3-0,5	1,60-2,00

Türkiye’de yalıtım ile ilgili yasal düzenlemelerde enerji limitlerinin AB seviyesinin çok geride kalması dolayısıyla uygulanan yalıtım kalınlıkları da farklılıklar arz etmektedir. Türkiye’deki ve benzer iklim koşullarına sahip diğer ülkelerdeki illerde uygulanan yalıtım kalınlıklarının karşılaştırıldığı çizelge aşağıda verilmiştir. Çizelge incelendiğinde AB ülkelerinin enerji verimliliği ile hedeflerine ulaşmak için daha kalın yalıtım malzemeleri kullandığı gerçeği ortaya çıkmaktadır. Ülkemizde de enerji verimliliği ve çevre ile ilgili hedeflere ulaşılması için mevcut yalıtım kalınlıklarının çok üzerinde uygulamaları hayata geçirmemiz gereklidir.

**Çizelge 2:** Bazı AB ülkeleri ile Türkiye’deki yalıtım kalınlıkları çizelgesi

Şehir	Ülke	HDD	CDD	Yalıtım Kalınlığı (cm)	Türkiye’deki İller	Yalıtım Kalınlığı (cm)
Seville	İspanya	931	908	7 cm	<b>ANTALYA</b>	<b>3 cm</b>
Athens	Yunanistan	876	1020			
Lisbon	Portekiz	846	410			
Madrid	İspanya	1860	596	12 cm	<b>İSTANBUL</b>	<b>4 cm</b>
Bordeaux	Fransa	2034	184			
Florence	İtalya	1920	437			
Vienna	Avusturya	2844	221	14 cm	<b>ANKARA</b>	<b>5 cm</b>
Paris	Fransa	2702	114			
Milan	İtalya	2616	286			
Brussels	Belçika	3067	67	16 cm	<b>KAYSERİ</b>	<b>7 cm</b>
Amsterdam	Hollanda	3039	27			
Warsaw	Polonya	3747	82			
Oulu	Finlandiya	5831	11	20 cm	<b>ERZURUM</b>	<b>7 cm</b>
Tromsö	Norveç	5584	0			
Lulea	İsveç	5943	3			

Yalıtım kalınlıklarının, enerji verimliliğine etkisi çok fazla olsa da kalınlık artışının uygulama maliyetine olan etkisi oldukça azdır. Genel olarak uygulamalarda yalıtım malzemesinin maliyetinin dışında, yalıtım kalınlığından bağımsız olarak; iskele kurulumu, elektrik, su gibi alt yapı maliyetleri, yapıştırıcı, sıva, dübel, file, profil vb. yardımcı malzeme maliyetleri, boya, dış cephe kaplaması, alçı levha gibi iç yüzey kaplamaları, şap gibi tamamlayıcı malzeme maliyetleri ve işçilik maliyetlerinden oluşur. Tüm bu maliyetlerin içerisinde yalıtım malzemesinin kalınlığının artırılmasından oluşacak maliyet uygulamadan uygulamaya geçişle birlikte oldukça düşüktür. Özetle; ısı yalıtım malzemesinin performansı – literatürde ısıl direnç olarak tanımlanır- kalınlıkla doğru orantılı artarken, yalıtım malzemesinin maliyetinin, toplam maliyetteki etkisini çok daha düşük bir eğilim ile artırmaktadır. Kalınlığa bağlı fiyat artışı ile performans artışının sektörümüzün avantajına farklı oranlarda gerçekleşmesi, maliyet etkinlik veya yaşam döngüsü analizlerinde ısı yalıtımının öne çıkmasını sağlamaktadır.

İstanbul'da 5 katlı bir apartman için güncel maliyetler ile sadece ısıtma ihtiyacı üzerinden yapılan analizlerde; mevcut TS 825 standardında tarif edilen U değerleri ve enerji limitlerine uygun yalıtımın geri ödeme süresi, bu yalıtım kalınlıklarına duvarda +4cm, çatıda +10cm, tabanda +2cm ilave edip, pencerelerde 2,4 W/m<sup>2</sup>K yerine 1,6 W/m<sup>2</sup>K camlar kullanılarak üretilen çözümün geri ödeme süresinden daha fazladır. Dolayısıyla toplam maliyet ve daha kalın ısı yalıtım malzeme kullanımı ile enerji verimliliğinde sağlanan iyileşme birlikte ele alındığında mevcut TS 825 standardının maliyet etkin çözümler sunmadığı sonucu ortaya çıkmaktadır. TS 825 standardında tanımlanan limitlerin güncel olmamasından kaynaklanan bu sorun, U değerlerinde ve enerji limitlerinde yapılacak maliyet etkinliği esas alan iyileştirmeler ile ortadan kaldırılabılır.

## 2.2. Maliyet Etkin Minimum Enerji Performans Gereklilikleri ve nSEB Tanımı

2002/91/EC sayılı direktif, AB Komisyonunca; enerji performans gerekliliklerinin güçlendirilmesi ve direktifte yer alan bazı hükümlerin açıklığa kavuşturulması amacıyla 19 Mayıs 2010 tarihinde revize edilmiş ve 2010/31/EU sayılı direktif yayımlanmıştır. 2010/31/EU sayılı direktif ile yapılan değişiklikle ülkelerden oluşturulan metodoloji çerçevesinde maliyet etkin minimum enerji performans gerekliliklerini tanımlamaları istenmiştir. Ayrıca bu Direktifin 9. Maddesi üye ülkelere;

- 31 Aralık 2020'den itibaren tüm yeni binaların,
- 31 Aralık 2018'den itibaren tüm yeni kamu binalarının neredeyse sıfır enerjili bina olarak inşa edilmelerini teminat altına almalarını talep etmektedir [8].

Üye ülkeler, AB komisyonu tarafından atanan danışman ECOFYS şirketinin desteği ile maliyet etkin minimum enerji performans gerekliliklerine dair çalışmalarını 2016 yılında tamamlamıştır. Örneğin Slovakya'da 2013 yılında minimum enerji performans gerekliliği daireler için 126 kWh/m<sup>2</sup>.yıl olarak tanımlanmıştır. Maliyet etkinlik seviyelerine dair yapılan hesaplamaların sonucunda bu limit 2016 yılında 63 kWh/m<sup>2</sup>.yıl değerine çekilmiştir. Neredeyse sıfır enerjili bina gereklilikleri için 2019 yılında kamu binaları, 2021 yılından itibaren tüm yeni binalar için limit değerinin 32 kWh/m<sup>2</sup>.yıl olacağı ön görülmektedir.

Maliyet etkin minimum performans gereklilikleri ile nSEB tanımının getirildiği 2010/31/EU sayılı direktif ülkemizde henüz uyumlaştırılmamıştır. AB üyesi ülkelerin maliyet etkin minimum performans gerekliliklerini belirlerken kullanmış oldukları metodoloji çerçevesinde yürütülen bu çalışmanın neticesinde ECOFYS şirketi tarafından İZODER adına Türkiye için "U-Değerleri

Haritaları” Raporu hazırlanmıştır. Rapora göre mevcut ülkemizde yürürlükte olan maliyet etkin bir şekilde U değerlerinin yaklaşık 2-2,5 kat iyileştirilmesi ile nihai enerjiden 2023'e kadar yaklaşık %7, 2030'a kadar yaklaşık %14 ve 2050'ye kadar yaklaşık %28 oranında tasarruf edilebileceği ortaya konulmaktadır. ECOFYS tarafından belirlenen maliyet etkin “U” değerleri ile yürürlükte olan TS 825:2008'deki “U” değerleri aşağıdaki mukayese çizelgesinde verilmiştir.

**Çizelge 3: Maliyet etkin U-değerleri ve mevcut TS 825:2008'deki “U” değerleri çizelgesi [9]**

Yapı bileşeni	Maliyet etkin U-değerleri - (W/m <sup>2</sup> .K)		TS 825:2008'deki “U” değerleri - (W/m <sup>2</sup> .K)
	Yeni inşaatlar	Yenileme/tadilat	
<b>Çatı:</b> U <sub>çatı</sub>	0,13-0,27	0,12-0,25	0,25-0,45
<b>Duvar:</b> U <sub>duvar</sub>	0,17-0,35	0,17-0,35	0,40-0,70
<b>Pencere:</b> U <sub>pencere</sub>	1,10-1,80	1,10-1,80	2,40
<b>Döşeme:</b> U <sub>döşeme</sub>	0,26-0,57	0,25-0,51	0,40-0,70

Yapılan hesaplamalarda 2030'a kadar sağlanması öngörülen tasarruf ~%12'lik bir emisyon azaltım potansiyeline karşılık gelmektedir. Raporda talep tarafında enerji verimliliği önlemlerine odaklanılarak, Türkiye'nin Niyet Edilen Ulusal Katkı (INDC) beyanında hedeflenen %21'lik düşüşe ulaşmak amacıyla geri kalan %~9'luk açığı kapatmak için, kombine bir şekilde yenileme oranının artırılması ve daha da iyileştirilmiş U değerleri gerekli olduğu belirtilmektedir. Bu çerçevede raporda olası bir çözüm olarak, mevcut binaların yenileme oranının %0.45'ten %1'e artırılması ve 2030 yılında %2 olacak şekilde doğrusal biçimde yükseltilmeye devam ettirilmesi önerilmektedir. Geline nokta TS 825 revizyon çalışmalarının henüz başlamamış olması ve Türkiye'nin yeni Niyet Edilen Ulusal Katkı (INDC) beyanında hedefini %41'e getirmesi dolayısıyla raporda sunulan çözüm önerilerinin daha agresif bir şekilde uygulamaya sokulması gerektiği aşıkardır.

2010/31/EU sayılı direktif 2018 yılında tekrar revize edilmiştir ve 2018/844/EU sayılı direktif yayımlanmıştır. Mevcut binalarda alınması gereken tedbirlere yoğunlaşan 2018/844/EU henüz ülkemizde henüz uyumlaştırılmamıştır. 2018/844/EU sayılı direktif daha enerji verimli sistemlere doğru bina yenileme oranını hızlandıracak ve yeni binaların enerji performansını güçlendirerek onları daha akıllı hale getirecek önlemleri içermektedir [10].

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'nde 19 Şubat 2022 tarihinde yapılan değişiklikle neredeyse sıfır enerjili bina konseptine dair tanımlamalar yasal mevzuatımıza dahil edilmiştir. Yönetmeliğe göre 01 Ocak 2023 tarihinden itibaren bir parseldeki toplam inşaat alanı 5000 m<sup>2</sup>'den büyük olan tüm binaların enerji performans sınıfının en az 'B' olacak şekilde inşa edilmesi ve kullanılacak enerjinin en az yüzde 5'inin yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması zorunlu hale getirilmiştir [11]. Düzenlemeyle birlikte, 5000 m<sup>2</sup>'den büyük olan yapıların halen "C" olan asgari enerji performansının "B"ye çıkarılması en az %20 oranında enerji verimliliğinde iyileşme ve ısı yalıtımında kullanılan yalıtım malzemesi kalınlıklarında da bir miktar artışı beraberinde getirmektedir. Ayrıca Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'ne göre 01 Ocak 2025 tarihinden itibaren Neredeyse Sıfır Enerjili Binalar (nSEB) bina şartı 2000 m<sup>2</sup>'ye çekilirken, yenilenebilir enerji kullanım oranının ise yüzde 10'a çıkarılmaktadır. “Asgari enerji performansı ‘B’ olan nSEB binalar, diğer binalara göre cephelerde en az 2-3 cm, çatılarda en az 4-6 cm, döşemelerde en az 2 cm daha kalın yalıtıma ve kaplamalı yalıtım camı üniteleri ile ısı yalıtım değerleri iyileştirilmiş pencerelere sahip olan binalardır.

### 3. SONUÇ

Tüm raporlar, açıklamalar, istatistikler ve çalışmalar binalarda enerji verimliliğinin çok öncelikli ele alınması gereken bir konu olduğunu ortaya koymaktadır. Konutlarda kullanılan enerjinin yaklaşık %80'lik bir bölümü ısıtma ve soğutma amacıyla tüketilmektedir. Dolayısıyla "ısı yalıtımı" sağladığı verimlilikle tüm gelişmiş ülkelerin sıklıkla ve öncelikli olarak başvurduğu bir tedbirdir.

Ülkemizin enerji kaynakları sınırlı olmasına rağmen enerji verimliliği ile ilgili gerekli adımların yeterince hızlı bir şekilde atılmadığı ifade edilebilir. Türkiye, Avrupa kıtasında en hızlı büyüyen bina stokuna sahip ülkedir. AB'de neredeyse sıfır enerji binalara geçiş başlamışken, mevcut standartlarımıza baktığımızda ülkemizde halen bir metrekaresine bir alanın ısıtılması için harcanmasına izin verilen yıllık enerji miktarı, gelişmiş ülkelerin çok üzerindedir. Gelişmiş ülkelerde tanımlanmış U değerleri ile ülkemizde tavsiye edilen U değerlerini mukayese edildiğinde, ülke olarak daha verimli çözümlere yönelmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Ülkemizde enerji tüketimine dair sadece TS 825 Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları standardında tanımlanan net ısıtma enerjisi ihtiyacına yönelik limit değerler tanımlanmıştır. Ülkemiz 4 mevsimi yaşayan bir coğrafyada olmasına rağmen sadece ısıtma için tüketilen net enerji miktarına yönelik sınırlamalar getirilmiştir. Örneğin Antalya'daki bir konut ısıtma ihtiyacı dikkate alınarak ısı yalıtım projesi hazırlanmaktadır. Soğutma ihtiyacının tayinine yönelik metodolojinin ilave edilmesi amacıyla TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardının 2019 yılı içerisinde revizyon çalışmaları başlatılmıştır. Revizyon çalışmaları tamamlandığında dört mevsimi yaşayan ülkemizin soğuk bölgelerimizde ısıtma ihtiyacına, sıcak bölgelerinde ise soğutma ihtiyacına göre tasarım yapılmasına imkân sağlanmış olacaktır. Standartta yapılan değişikliklerin neticesinde hem ısıtma hem de soğutmayı ele alacak yeni metodolojiye göre yeni enerji limitlerinin tayin edilecektir. Birçok gelişmiş ülkede binalar ısıtma ve soğutmaya yönelik yıllık enerji tüketimi 30-50 kWh/m<sup>2</sup>.yıl olacak şekilde yalıtımlı olarak tasarlanarak inşa edilmektedir. Ülkemizde ise ortalama enerji tüketimleri 120-150 kWh/m<sup>2</sup>.yıl seviyesindedir. TS 825 standardının tamamlanması ile enerji verimliliği anlamında AB ile aramızdaki mesafeyi kapatacak esaslı adımları atarak cesur bir şekilde enerji limitlerinin belirlenmesi gerekmektedir. "Enerji Verimliliği Strateji Belgesi: 2012- 2023" kapsamında tanımladığı üzere ülkemizde de bir an önce U değerleri iyileştirilerek AB seviyesine getirilmelidir.

Ayrıca çevreye duyarlı ve enerji verimli bir yapılaşma için 2025 yılı beklenmeden tüm binalar nSEB konseptinde yapılmalıdır. İlk aşamada deprem konutlarının nSEB konseptinde yapılması ile kamunun özel sektöre örnek ve öncü olması sağlanmalı ve enerji verimliliği, çevreye duyarlılık ve yenilenebilir enerjiden yararlanılması yönleriyle projenin sosyal etkisi artırılmalıdır. Afet bölgesindeki 11 ilde başlayan bu yaklaşım 81 ile genişletilerek nSEB konseptinde yerel ve yatay mimaride yapılacak sosyal konutlar ile binalardan kaynaklanan sera gazı salımları azaltılmalıdır.

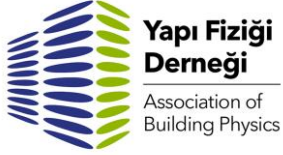
Ülkemizdeki ısı yalıtımıyla ilgili yasal düzenlemeler 14 Haziran 2000 tarihinden sonra yapılan binaları kapsamaktadır. 2000 yılında yapılan bina sayımına göre ülkemizde 16 milyonun üzerinde konut bulunmaktadır. Günümüzde hane sayısı 22 milyon'un üzerindedir. Dolayısıyla mevzuatların yayımlandığı tarihten günümüze kadar yapılan tüm konutların tam anlamıyla mevzuat çerçevesinde yalıtıldığı varsayılrsa dahi hala binalarımızın yaklaşık %75-80'ninin enerji verimliliği ile ilgili yasal düzenlemelerin kapsamının dışında olduğu ifade edilebilir. Dolayısıyla Türkiye'de enerji verimliliği ile ilgili olarak mevcut bina stokunun iyileştirilmesinin kritik öneme haiz olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu amaçla mevcut binaların enerji verimli hale getirilmesi için teşvik

mekanizmaları hayata geçirilmelidir. Kentsel dönüşüm uygulamaları, verimsiz mevcut bina stokunun, güncel mevzuatlara uygun olarak yeniden inşa edilmesi sağlanacağı için enerji verimliliği açısından önümüzde bulunan büyük bir fırsattır. Kentsel dönüşümle yeniden inşa edilmesi hedeflenen konut sayısı 6,7 milyon' dur. Bir an önce mevzuatta tanımlanan enerji limitleri düşürülmeli ve Kentsel dönüşüm ile enerji verimliliği çok daha iyi olan konutların üretilmesi fırsatı kaçırılmamalıdır.

#### **4. KAYNAKÇA**

1. 2021 Yılı Ulusal Enerji Denge Tabloları
2. Dışişleri Bakanlığı, Türkiye'nin Uluslararası Enerji Stratejisi Raporu
3. Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası Enflasyon Raporu 2023-I
4. TÜİK, Gelir ve Yaşam Koşulları Araştırması, Mart 2023
5. TÜİK, 2023 Sera Gazı Emisyon Envanteri Raporu
6. Türkiye Ulusal Niyet Katkı Beyanı (INDC)
7. Yüksek Planlama Kurulu, "Enerji Verimliliği Strateji Belgesi: 2012- 2023", 25 Şubat 2012
8. AB Komisyonu, 2010/31/EU Energy Performance of Buildings Directive, 2010
9. ECOFYS, Türkiye U değerleri Haritası Raporu, 2015
10. AB Komisyonu, 2018/844/EU Energy Performance of Buildings Directive, 2010
11. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, 2022

## Düzenleyenler



## Sponsorlar

