3. ULUSAL YAPI FİZİĞİ VE ÇEVRE KONTROLÜ KONGRESİ



Bildiriler Kitabı

10-11 Mayıs 2018 • İTÜ Taşkışla, İstanbul

Yapı Fiziği Derneği
Association of Building Physics
www.yapifizigidernegi.org

3. ULUSAL
YAPI FİZİĞİ VE ÇEVRE KONTROLÜ KONGRESİ

10-11 Mayıs 2018

İTÜ Taşkışla, İstanbul

Yapı Fiziği Derneği
Association of Building Physics

www.yapifizigidernegi.org

3. ULUSAL YAPI FİZİĞİ VE ÇEVRE KONTROLÜ KONGRESİ

Bildiriler Kitabı

Editörler
Dr. Öğr. Üyesi Nuri Serteser
Araş. Gör. Seda Kaçel
Araş. Gör. İdil Erdemir Kocagil
Araş. Gör. İlker Karadağ
Araş. Gör. Dilara Demir
Araş. Gör. Eda Köse
Araş. Gör. Z. Aybike Kılıç
Araş. Gör. Mehmet Akif Aydın

© Bütün hakları saklıdır. Bu eserin bir kısmı ve tamamı Yapı Fiziği Derneği'nin izni olmadan, hiçbir şekilde çoğaltılamaz, kopya edilemez.

ISBN: 978-605-68471-0-3

Baskı ve Cilt: Matsis Matbaa Hizmetleri Ltd. Şti.

Yayınlayan:

B2B medya

Teknik Sektör Yayıncılığı A.Ş.
Barbaros Mah. Uğur Sk. No: 2/2 34662 Üsküdar / İstanbul
Tel: 0216 651 7878 / Faks: 0216 651 7898
www.b2bmedya.com • info@b2bmedya.com

3. ULUSAL YAPI FİZİĞİ VE ÇEVRE KONTROLÜ KONGRESİ

DÜZENLEME KURULU

Prof. Dr. Gül Koçlar Oral
Prof. Dr. Alpin Köknel Yener
Doç. Dr. Gülten Manioğlu
Dr. Öğr. Üyesi Nurgün Tamer Bayazıt
Dr. Öğr. Üyesi Nuri Serteser
Dr. Öğr. Üyesi Neşe Ganiç Sağlam
Öğr. Gör. Dr. Ş. Filiz Akşit
Araş. Gör. Seda Kaçel
Araş. Gör. İdil Erdemir Kocagil
Araş. Gör. İlker Karadağ
Araş. Gör. Dilara Demir
Araş. Gör. Eda Köse
Araş. Gör. Z. Aybike Kılıç
Araş. Gör. Mehmet Akif Aydın

SEKRETERYA

Dr. Öğr. Üyesi Nuri Serteser
Araş. Gör. İdil Erdemir Kocagil
Araş. Gör. İlker Karadağ
Araş. Gör. Dilara Demir

BİLİMSEL KURUL

Prof. Dr. Neşe Yüğrük Akdağ (YTÜ)
Prof. Dr. Ayşe Erdem Aknesil (Beykent Ü.)
Prof. Dr. Zerhan Yüksel Can (YTÜ)
Prof. Dr. Demet Irklı Eryıldız (Okan Ü.)
Prof. Dr. Gülay Zorer Gedik (YTÜ)
Prof. Dr. Mehmet Şener Küçükdoğu (İKÜ)
Prof. Dr. Vildan Ok (İTÜ)
Prof. Dr. Gül Koçlar Oral (İTÜ)
Prof. Dr. Türkan Göksal Özbalta (Ege Ü.)
Prof. Dr. Mustafa Özgünler (MSGSÜ)
Prof. Dr. Leyla Dokuzer Öztürk (YTÜ)
Prof. Dr. Leyla Tanaçan (İTÜ)
Prof. Dr. Aslıhan Ünlü Tavil (İTÜ)
Prof. Dr. Nil Türkeri (İTÜ)
Prof. Dr. Rengin Ünver (YTÜ)
Prof. Dr. Alpin Köknel Yener (İTÜ)
Prof. Dr. A. Zerrin Yılmaz (İTÜ)
Prof. Dr. Sevtap Yılmaz (İTÜ)
Doç. Dr. M. Emre İlal (İYTE)
Doç. Dr. Rana Kutlu (İKÜ)
Doç. Dr. Gülten Manioğlu (İTÜ)
Dr. Öğr. Üyesi M. Cem Altun (İTÜ)
Dr. Öğr. Üyesi Nurgün Tamer Bayazıt (İTÜ)
Dr. Öğr. Üyesi Nuri Serteser (İTÜ)
Öğr. Gör. Dr. Ş. Filiz Akşit (İTÜ)

İÇİNDEKİLER

Mimarlık Eğitiminde İşitsel Çevre Tasarımı İçin Bir Ders Önerisi Yaklaşımı 01
Dilara DEMİR, Nurgün TAMER BAYAZIT

Eğitim Binalarında İşitsel, Görsel ve Isıl Konfor Açısından Yapı Kabuğu Değerlendirmesi: Bir Ortaöğretim Okulu Örneği 15
Ahmet Bircan ATMACA, Neşe YÜĞRÜK AKDAĞ, Rengin ÜNVER, Gülay ZORER GEDİK

Aydınlatmanın Renk Tasarımındaki Rolü Ve Yaşam Odası Renk Tercihine Etkisi 25
Fazıla DUYAN, Rengin ÜNVER

İklim Değişikliği Çerçevesinde Yerleşme Dokularının Bina Enerji Performansı Üzerindeki Etkilerinin Değerlendirilmesi 33
Suzi Dilara MANGAN, Gül KOÇLAR ORAL

Alüminyum Cephe Detayında Bisco, Frame Ve Swflow Yazılımları Kullanılarak Isıl Performansın Karşılaştırılması 41
Asgar AKBAROV, Ahmet BİLER

Enerji Modeli Kalibrasyonu İçin Bir Yaklaşım 51
Yiğit YILMAZ, Gül KOÇLAR ORAL

Rüzgar-Yapı Etkileşiminin Ön Tasarım Aşamasında Tahminine Yönelik Bir Algoritma 61
İlker KARADAĞ, Nuri SERTESER

Tarihi Camilerde Cephe Aydınlatması - Üsküdar Mihrimah Sultan Camii Örneği 73
Pınar ÇAVUŞOĞLU, Leyla DOKUZER ÖZTÜRK

Daha İyi Bir Öğrenme Ortamı İçin "Aydınlatma" 83
Ebru ÖZLÜ

Konut Mekanlarında Cephe Açıklıklarına Bağlı Günışığı Performansının Değerlendirilmesine İlişkin Bir Çalışma 93
Z. Aybike KILIÇ, Alpin KÖKNEL YENER

Binalarda Günışığı Performansı Değerlendirmesine İlişkin Bir Çalışma 103
Gökçe ERDEMİR, Alpin KÖKNEL YENER

Camilerde Doğal Aydınlatma Düzenleri Üzerine Bir Araştırma 113
Simay ATAKÖY, Rengin ÜNVER

Yemekhanelerde Akustik Konfor Değerlendirmesi - Bir Örnek Çalışma 123
Konca ŞAHER

Mimaride Kullanılan Dokunmamış Malzemelerin Ses Yutuculuğunun Empedans Tüpü İle Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi 131
Duygu ÖZEL, Sevtap YILMAZ

Stadyumlarda Uygun Akustik Ortamın Oluşturulmasında Kanopi Etkisinin Simülasyon Yöntemiyle İncelenmesi 141
Merve GÖZÜTOK, Mehmet Nuri İLGÜREL

Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina Uygulamalarında Karşılaşılan Engel Ve Zorluklara Genel Bir Bakış 151
Korhan DEMİR, Şeyma DURAK, Yusuf YILDIZ

LEED Yeşil Bina Sertifika Sistemi Uygulamalarının Enerji Açısından Değerlendirilmesi: Avrupa Ve Türkiye 161
Eren BAŞTANOĞLU, Ş. Filiz AKŞİT

Yeşil Bina Sertifika Sistemlerinde Kullanılan Doğal Aydınlatma Kriterleri 171
Seda KAÇEL, Rengin ÜNVER, Alpin KÖKNEL YENER

İÇİNDEKİLER (Devam)

Yeşil Bina Sertifika Sistemlerinde Yangından Korunma 181
Nuri SERTESER, Gökçe ARPACI

Konutlarda Isıtma Enerjisi Maliyetinin Daireler Arasında Dengeli Dağılımı Açısından Faz Değiştiren Malzemelerin Uygulandığı Bina Kabuğu Performansının Değerlendirilmesi 195
Eda KÖSE, Gülten MANİOĞLU

Bina Kabuğunda Yenilikçi Yaklaşımlar - Fotobiyoreaktör Cepheler 205
İlknur KÜKDAMAR, Türkan GÖKSAL ÖZBALTA

Cephe Sistemlerinde Yangın Örnekleri ve Alınabilecek Önlemler 215
Hasan Efe ÖZDEMİR, Mustafa ÖZGÜNLER

Engelli Bina Kullanıcılarının Olası Yangın Durumunda Tahliye Olanakları 223
Furkan ERUÇAR, Nuri SERTESER

Yüksek Binalarda Yangın Güvenlik Mühendisliği Uygulamaları 229
İlker İBİK

Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği Uygulamaları ve Yönetmelikte Enerji Etkinliğinin Yeri 235
Ayşe ŞAHİN, Fatih YAZICIOĞLU

Uyum Gösteren Cephe Teknolojilerinin Farklı İklimlerde Kullanılabilirliğine İlişkin Bir İnceleme 245
Mine KOYAZ, Aslıhan Ünlü TAVİL

Sıcak - Kuru İklim Bölgelerinde Bina Kabuğu Isıl Performansının Yaz Konfor Koşulları Açısından Değerlendirilmesine Yönelik Bir Çalışma 257
Melis EKİZCE CAN, Gülten MANİOĞLU

Mevcut Konut Binalarında Enerji Verimliliği Potansiyelinin Anahtar Faktörü: Kullanıcı Davranışı 267
Gülsu ULUKAVAK HARPUTLUGİL

Kentsel Geometri - Bina Enerji Performansı Etkileşimi: Kurtuluş Örneği 277
İdil ERDEMİR KOCAGİL, Gül KOÇLAR ORAL

Çatı ve Cephelerde Uygulanan Güneş Panellerinden Üretilen Enerjinin Kentsel Doku Ve Bina Tipolojisi Bağlamında İncelenmesi 287
Halit BEYAZTAŞ, Gül KOÇLAR ORAL

SUNUŞ

Günümüzde giderek artan enerji ve çevre sorunları, tasarımcı ve yapımcılara, önemli sorumluluklar yüklemektedir. Tasarımcı ve yapımcılar kullanıcı açısından sağlıklı, konforlu yapma çevreler yaratırken, sonraki kuşaklara yaşanabilir bir dünya bırakmak ve çevre kirliliğini önleyerek, enerji kaynaklarını verimli kullanan yapma çevreleri gerçekleştirmek misyonunu da üstlenmektedir.

Yapma çevre tasarımının konfor koşulları ve işlevsel özellikler açısından taşıdığı önem göz önünde bulundurulduğunda pek çok disiplinle ilişkili olduğu bilinmektedir. Diğer taraftan sağlıklı, konforlu, enerji etkin ve sürdürülebilir bir yapma çevre sağlamada; ısı, ışık, ses, yangın gibi fiziksel çevresel etkenler; iklimlendirme, aydınlatma, yangın denetimi, enerji korunumu, su korunumu, yalıtım ve kalite konularını içeren "Yapı Fiziği" etkin bir alandır. Diğer bir deyişle, yapı fiziği alanı sağlık, konfor, enerji etkinliği açısından optimum performans gösteren yapıların, kullanımı, yapımı ve tasarımında temel alan olarak bilinmektedir. Bu açıdan, yapı fiziği konuları, sağlıklı konforlu yapma çevre tasarlama görevininin üstlenildiği ve uzmanlaşmaya olan gereksinimin giderek arttığı mimarlık ve mühendislik alanında önemli bir yer tutmaktadır. Dolayısıyla, yapma çevrenin kullanım amacına maksimum uygunluk, gereksinmelerin optimum karşılanması ve üretkenliğin sağlanması, kullanıcıların sağlığının ve konfor koşullarının sağlanması, estetik ve sürdürülebilirlik açısından uygunluk gibi başlıca parametrelerin iyi değerlendirilmesi, eldeki olanaklarla en uygun yapma çevreyi tasarlama mimarlar ve mühendisler için de büyük önem taşımaktadır. Günümüzde mimarlık ve mühendislik alanlarındaki hızlı gelişim ve karmaşıklaşan yapı, değişen koşullara uyum sağlayabilen, farklı disiplinlerden uzmanlarla bir araya gelerek işbirliği yapabilen, bütüncül bir tasarım anlayışına ve takım çalışması yapabilme becerisine sahip tasarımcı ve yapımcıları gerekli kılmaktadır. Dolayısıyla, enerji ve çevresel sorunların çözümünde temel bir alan olan yapı fiziği ve çevre kontrolü konuları bütüncül bir yaklaşımla farklı disiplinlerde uzmanlaşmayı ve disiplinlerarası güçlü bir bilgi alışverişini gerektirmektedir.

Bu açıdan Yapı Fiziği Derneği tarafından düzenlenen 3. Ulusal Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi'nin amacı; kongre konuları kapsamında araştırma, tasarım, uygulama, üretim gibi farklı alanlarda çalışanları bir araya getirerek yapılan çalışmaları aktarmak, özellikle genç araştırmacıların çalışmalarına öncelik vererek yeni gelişmeleri tartışmak ve disiplinlerarası çözüm önerileri geliştirmektir.

Kongrenin amacına ulaşabilmesi için özveri ile çalışan **Kongre Sekreteryası**'na, **Yürütme Kurulu Üyeleri**'ne, bildirileri ile bilimsel katkı yapan **Katılımcılara**, **Oturum Başkanları**'na, **Bilim Kurulu Üyeleri**'ne, kongrenin gerçekleştirilebilmesi için desteklerini esirgemeyen; Ana Sponsor: **NURUS** firması, Sponsorlar: **Çuhadaroğlu Alüminyum Sistemleri** firması, **İZOCAM** firması, **Efectis Era** firması, **ÇEKÜL** ve çözüm ortağı **B2B Medya**'ya Yapı Fiziği Derneği adına çok teşekkür eder, sevgi ve saygılarımı sunarım.

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

3.Ulusal
Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi

10-11 Mayıs 2018
İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul

MİMARLIK EĞİTİMİNDE İŞİTSEL ÇEVRE TASARIMI İÇİN BİR DERS ÖNERİSİ YAKLAŞIMI

Araş. Gör. Dilara Demir[a]
Dr. Öğr. Üyesi Nurgün Tamer Bayazıt[b]
İTÜ Mimarlık Fakültesi
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437.

ÖZET

Tarihten bugüne 'ses' insanlık ve mimarlık için bilgi taşıyan önemli bir kavramdır. Mimarinin sebep olduğu işitsel koşullar, günlük yaşantıyı oldukça etkilemektedir. Son yıllarda sesin yalnızca gürültü kaynağı olarak görülmemesi, mekan ve çevre algısı üzerinde yarattığı olumlu özelliklerinin ortaya çıkarılması için çalışmalar yapılmaktadır. İşitsel çevrenin; işlev, ses kaynakları, kullanıcı gereksinimi, malzeme, hacim gibi birçok parametreden etkilendiği düşünüldüğünde, mimari açıdan tasarımının kolay anlaşılır olmadığı söylenebilir. Özellikle mimarlık eğitiminin çoğunlukla görsel algıya dayandırılması ve işitselliğe az yer vermesi, öğrencilerin de bu konuları geri plana atmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple işitsel çevrenin ihtiyaçlarına yönelik tasarım yapabilmeleri için öğrencilerde farkındalık yaratacak bir yaklaşım ihtiyacı doğmuştur. Bu çalışmada işitsel çevrenin mimari değerlendirmesine yönelik olarak bir dönem boyunca seçmeli ders kapsamında 45 mimarlık öğrencisi ile yapılan çalışmalar anlatılmıştır. Öncelikle öğrencilerde farkındalık yaratmak için anket, görmeden yürüyüş ve dinleme testleri yapılmıştır. Ardından işitsel mimarlık projesi bölümünde, projelerinde olmasını hayal ettikleri işitsel ortamı üç boyutlu sesli animasyonlar yardımıyla işitselleştirmeleri istenmiştir. Akustik simülasyon programları yardımıyla, yarattıkları üç boyutlu ortamlarda, uyguladıkları malzemelere ve seçtikleri geometrilere bağlı olarak oluşan sesleri dinlemeleri ve öğrendikleri bilgileri pekiştirmeleri sağlanmıştır. Derste öğrencilere interaktif şekilde, grup olarak birlikte anlama, öğrenme ve tasarım yapma kültürü kazandırmak hedeflenmiştir. Dersin sonunda, öğrencilerden süreci değerlendirmeleri istenmiştir. Ders önerisi yaklaşımını oluşturan deneysel çalışmalar ile öğrencilerin tasarladıkları mekanların işitsel ortamını hayal etmeleri ve bu yönde düşünme becerisi kazanmaları beklenmiştir.

Anahtar sözcükler: Ses, İşitsel çevre, Mimarlık eğitimi, İşitsel mimarlık, Akustik mimarlık, Tasarım

ABSTRACT

From past to present, though the priorities of the hearing have changed, the concept of 'sound' is an important field of study for humanity and architecture. While noise is frequently called a negative effect of sound, the positive effects of it are disregarded. The fact that architectural education is mostly based on visual perception and give less importance auditory perception also causes the students to overlook these subjects. For this reason, there is a need for a proposal that will raise awareness of students on the problems of auditory space and their solution. As a method, creation of auditory spatial awareness with 45 undergraduate students and the results of these studies were discussed. In the light of effective teaching methods in education, it is aimed to achieve a culture of understanding, learning and design together. 3D sound animations for aural architecture project, material selection and auralization with ODEON for acoustic architectural project were done. Feedback was received from the students for future studies. Course proposal aimed students to imagine the auditory atmosphere designed by them in education and to gain thinking skills in this direction.

Key words: Sound, Sonic environment, Architectural education, Aural architecture, Acoustic architecture, Design

[a] e-posta adresi: demirdil@itu.edu.tr
[b] e-posta adresi: nurgun@itu.edu.tr

1.GİRİŞ

Mimarlık ve çevre duyularla algılanır, kullanıcılarında duygular oluşturur ve oluşturduğu duygular çerçevesinde tepkiler verilmesini sağlar. Mimarlıkta duyularla ilgili en genel önerme, görmenin diğer duyulara olan baskınlığını ileri sürmektedir. Mimarlar ve eğitimciler, çoğunlukla görme duyusuna odaklanarak tasarım aşamasında çizim ve maketlerden yararlanır ve ortaya çıkan eserlerini görsel metotlarla değerlendirir, tüketir ve yeniden üretirler. Duyular arasında işitme, mimari tasarımın bir parçası olmamış bir yan konu gibi görülmüş bu nedenle de eğitimin ve tasarım pratiğinin oldukça dışında kalarak temsil diline yeterince aktarılamamıştır. Çizim programları ve üç boyutlu görseller iletişim yöntemi olarak görme duyusuna hitap etmektedir. Mimari de akustiğin tasarım aşamasında değerlendirilememesinin ve eğitime bu konuların yeterince iyi yansıyamamasının nedenlerinden biri mekanın nasıl bir sesi olacağını hayal etmenin ve tasarıma işitsel yönden yaklaşımın zorluğu, diğeri bu konuların mimarlardan çok mühendislerin çalıştığı bir alan olarak görülmesidir. Genel olarak kullanıcılar ve mimarlar, bir mekanı ne derece dinler ve ne derece işitsel yönden değerlendirirler bu soruların cevabı ancak farkındalık düzeyi ile verilebilir. Eğitimde ses kontrolü ve sesin önemi yeterince öğrenilemediği için tasarım aşamasında işitsel çevre düşünülmemektedir, oysaki insan bir mekânı gözleri kapalı iken de önemli ölçüde algılamaktadır. Bu nedenle yalnızca gözler için değil, kulaklar için de tasarım yapmak gereklidir [**1**].

Bu çalışmada daha önce 9 öğrenci ile yapılan pilot atölye çalışmasından alınan geribildirim ve sonuçlara dayanarak hazırlanan [**2**] yeni bir ders planı taslağı üzerinden uygulanan bir seçme ders yöntemi anlatılmıştır. İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü 2017-2018 güz dönemindeki "Acoustical Design of Halls" isimli seçme ders kapsamında bir dönem boyunca 45 lisans öğrencisi ile işitsel mekansal farkındalığı (auditory spatial awareness) [**3**] artıracak deneysel çalışmalar yapılmış ve sunulmuştur. İşitsel mekânsal çevrenin, akustik mimarlık ve işitsel mimarlık yönünden değerlendirilmesi ile mevcut eğitime yeni bir bakış açısı kazandırılmak istenmiştir. Dersin amaçları, yöntemsel yaklaşımlar ve öğrencilerden alınan geribildirimler açıklanmıştır. Çalışmalar, mimarlık eğitiminde işitsel çevrenin tasarımı konusunda işlenebilecek ders önerisi yaklaşımını oluşturmuştur.

2. İŞİTSEL ÇEVRENİN MİMARİ AÇIDAN DEĞERLENDİRMESİ

Sesin Beşeri Tarihi kitabında, arkeologların ve müzikologların yaptığı deneylerde mağaralarda duyduklarını ve gördüklerini detaylı olarak haritalayıp analiz etmeleri sonucu, akustiğin ve sesin imgelerle nasıl bağlantılı olduğunu ortaya koydukları belirtilmektedir [**4**]. İşitsel çevre insanın mekanı algılamasında önemli rol oynar. İşitsellik bağlamında zaman içinde form ve mekan oluşumu incelendiğinde insanın her zaman görmenin egemenliği altında olmadığı, görmenin, önceleri egemen olan işitmenin yerini almasının yavaş yavaş olduğu çıkarımı yapılabilir [**5**]. Mimari tasarım ve akustik Vitruvius'dan bu yana birbiri ile ilişki içinde olan iki konu olmuştur. Mekan içindeki sesleri düşünerek tasarım yapma düşüncesi performans mekanları veya dini mekanlar gibi akustik ihtiyaçlar ile sınırlandırılmadan, günlük yaşamda çevremizi oluşturan ofis, konut, hastane, metro vb. her mekan için olabilmelidir.

2.1. Tarih Boyunca Mimarlık – Ses İlişkisi

Çağlar boyunca ses ve mimari tasarım arasında derin bir ilişki olmuştur. Romalı mimar Vitruvius'un önemli eseri ''Mimarlık Üzerine 10 Kitap'' antik tiyatrolarda dinleyicilerin sesi iyi şekilde işitebileceği en mükemmel yerleşim düzenini tasarlamak için tasarıma yönelik kaygılar güdüldüğünü göstermektedir [**6**]. Gotik mimaride katedraller bir enstrüman olarak kullanılmıştır. Yüksek tavanlı mimari ve geniş iç hacim, reverberasyon süresinin uzun olmasına neden olmuş ve kutsal duyguların daha güçlü biçimde yaşanmasını sağlamıştır. Korodaki sesler birbirine karışarak ruhani hisler uyandırmıştır. Barok dönemde güney Avrupa'da görülen Katolik katedrallerine göre daha küçük ve alçak tavanlı kuzey Avrupa protestan kiliselerinde, güneyin dini yapılarına oranla göre daha kısa reverberasyon süreleri ölçülmüştür. Leipzig'deki St. Thomas Kirshe Kilisesi Bach'ın önemli eserlerine ev sahipliği yapmıştır. Kraliyet sarayları için türetilen oda müzikleri zaman içinde, farklı müzik türlerine evrilmiş ve değişen akustik ihtiyaçlara göre farklı salon tasarımları yapılmıştır. Bu durum işitsel çevrenin mimari ile ilişkisini kanıtlamaktadır. Marshall Long' un kitabında, bu ilişkiler anlamlı ve doğrudan örneklerle açıklanmaktadır [**7**]. Mimarlık ve ses arasındaki ilişkiyi açıklayabilmek için tarihten örnekler araştırmak, görsel ve işitsel ilişkilerin daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır.

2.2. Akustik Mimarlık (Architectural Acoustics)

Mekan ses kaynağı, ses yolu ve alıcı arasında bir ses alanı yaratır. Mekandaki tüm nesneler ve kullanıcılar bir ses kaynağı gibi tanımlanır ve ses üretirler. Ses yolu mekanın fiziksel özelliklerinden etkilenerek kaynak ve alıcı arasında direk veya dolaylı olarak bağlantı kurar. Mekandaki sesin karakterini belirleyen temel özellikleri geometri, boyut, hacim ve yüzey kaplama malzemeleridir. Düzgün bir geometride sesin davranışını anlamak görece daha basit olsa da karmaşık geometrilerde sesin dolaşarak yarattığı işitsel ortamı kavramak güçleşmektedir. Mimari akustiğin kurucusu olarak tanımlanan W. C. Sabine tarafından 1895'te geliştirilen reverberasyon süresi formülü sayesinde fiziksel ve akustik alan arasında bir ilişki kurmak mümkün olmuştur [**7**]. O tarihe kadar, sesin fiziksel olayları, mimarlığa uyum diliyle temsil edilmeye çalışılmıştır. Akustik açıdan bakıldığında büyük konser/opera salonlarının birçoğu, mimarlarının deneme-yanılma yöntemleriyle inşa edildiği görülmektedir. Sabine yaptığı bir dizi deney ve gözlem sayesinde, matematiksel bir denklem oluşturabilmiştir. Denklemin malzemelerin yutuculuk düzeyi ile ters ve hacimle doğrudan ilişkili olduğu düşünüldüğünde, modern mimaride sesin hacmi ne kadar temsil ettiği görülebilir.

Reverberasyon süresi ortamın işitsel kalitesini tanımlar ve mekanı karakterize eder. Mekanın yüzey şekilleri ve malzemelerin akustik özellikleri de ortamın işitsel kalitesini sesin yansıma, yutulma ve saçılma özelliklerine bağlı olarak değiştirmektedir. Eğer geometri, boyut, hacim ve yüzey malzemeleri yanlış tasarlanmış ise, iyi bir işitsel ortam yerine kaotik bir ses ortamı yaratılacaktır. Bu nedenle reverberasyon süresini iyi anlamak mimaride işitsel çevrenin tasarlanması için temel unsurdur.

2.3. İşitsel Peyzaj ve İşitsel Mimarlık (Soundscape and Aural Arhitecture)

Kanadalı besteci Murray Schafer ''The Tuning of the World'' isimli kitabında 20.yyda işitsel çevrenin değişimini incelemiş ve işitsel peyzaj kavramını bilim, toplum ve sanat kavramları ile açıklamıştır. Sesin dB ile ölçülen niceliksel özelliklerinin dışında mekânsal ve çevresel

davranışını tanımlamaya çalışarak, niteliksel özelliklerini ortaya çıkarmaya çalışmıştır [**8**]. İç mekan ile dış mekanı ayıran, ses düzeyi yüksek ses kaynaklarını her zaman gürültü olarak tanımlamamış, bazı seslerin korunması gerektiğini ileri sürmüştür. Yapma çevrede işitsel peyzajın ne olduğunu on temel soru ile cevaplayan bir çalışmada işitsel peyzaj unsurları üç alt başlıkta; akustik çevre, insan algısı, insan yanıtı/tepkisi olarak gösterilmiş ve işitsel peyzaj araştırmalarında kullanılan metotlar, dört alt başlıkta; ses yürüyüşü, laboratuvar deneyleri, davranışsal gözlem, kısa görüşme röportaj olarak ifade edilmiştir. Metotlar için kullanılan araçlar; anketler, anlamsal ölçekler, gözlem ve röportaj olarak ifade edilmiştir [**9**].

S.E. Rasmussen, kitabında, farklı akustik etkilere sahip mekanlar yaratmaya ilgi gösterilmediğini, oysa her mekanın benzer ses etkisi vermediğini belirterek, iç mekanların işlevine uygun tasarlanmadığı ve hatta her yerin aynı sese sahip olduğundan şikayet etmiş ve "mimarlık duyulabilir mi?" diyerek mimarlar için önemli bir soru ortaya atmıştır [**10**]. Bu sorunun ışığında, Blesser ve Salter tarafından ilk defa kavramsal olarak kullanılan işitsel mimarlık kavramı işitsel peyzajın bir diğer yarısı olarak nitelendirilmiştir. İşitsel mimarlık ses ile ilgili temel kavramların bilinmesi ile duygusal, davranışsal ve içgüdüsel yansımalar yaratacak mekanların tasarımını içermektedir.

Akustik mimarlığa karşın işitsel mimarlık mekanların işitsel deneyimi ve uyandırdığı duygular üzerinde yoğunlaşarak işitsel mekânsal farkındalığa dikkat çeken bir alandır [**3**]. Yalnızca performans ve müzik mekanlarının değil, farklı işlevlerdeki mekan ve hacimlerde mimari tasarım aşamasında ses tasarımını, sese göre de tasarım yapmayı öngörmektedir. Bu durumda sesin fiziksel niteliklerinin yanında sosyal etkileşimi, algısal yönelimsel yer-yön ilişkisini kurduran, işitsel estetiğin gelişmesini sağlayacak özellikleri de ön plana çıkmaktadır.

3. EĞİTİMDE İŞİTSEL ÇEVRE TASARIMI VE ÇALIŞMALAR

Eğitimde ses ile ilgili çalışmalar, yapı akustiği, gürültü kontrolü-haritaları, hacim akustiği konularını içermektedir. İşitsel peyzaj ve işitsel mimarlık kavramları ise lisans eğitimi için oldukça yeni kavramlardır. Akustik öğretimi için eğitimde kullanılabilecek yeni bir programın araştırılması, yukarıda anlatılan gerekçeler ve kavramlar nedeni ile gerekli görülmüştür. İşitsel çevreyi tasarlarken, hangi seslerin korunacağı veya hangi seslerin teşvik edilip çoğaltılacağı üzerine düşünülmesi gereken konulardır. Mimarlıkta eğitim ve pratik, tipik olarak görsel alanın hâkimiyetinde olduğu için bu çalışma, mevcut öğretim yöntemlerine farklı bir araştırma alanı sunmaktadır. Mimari akustik öğretiminin basit yöntemlerle işitsel deneyime öncelik vermesi ve işitsel yönden düşünme becerisi kazandırması beklenmelidir. Apfel, ''Deaf Architects & Blind Acousticians?'' isimli kitabında, mevcut öğretimin mimarlar tarafından akustiğin, nicel bir mühendislik problemi olarak kabul edilmesine, teknik uzmanlık uygulama pratiği olarak görülmesine sebep olduğunu belirtmektedir.
Mimari tasarım ile akustik gereksinimlerin karmaşıklığı, uygun bir ses ortamı yaratmak için basit yenilikçi bir anlayış gerektirmektedir. Yazar, mimarlar ve akustik uzmanları arasındaki bağlantının önemine dikkat çekerek yeni nesillerin bu farkındalık ile yetişmesini önermiştir [**11**]. Bütün bunlar yeni bir eğitim ihtiyacını işaret etmiştir.

3.1. Dersin Amaçları

Öğrencilerin dinlemenin önemini fark ederek, işitsel düşünce becerisi geliştirmesi ve öğrencilere tasarım sürecinde bu farkındalığı kullanmalarını sağlayacak bilgilerin verilmesi hedeflenmiştir. Mimari akustik ile yalnızca sesin fiziksel özelliklerinin öğretilmesini değil, aynı zamanda iç mekanların işitsel peyzaj özelliklerinin de kavratılması istenmiştir. Öğrencilerden beklenen tasarladıkları mekanların seslerini hayal etmeleri ve mekan ile sesin birbirini nasıl şekillendirdiğini anlamaları, hacim organizasyonu yaparken gürültülü veya sessiz mekanları nasıl tasarlayabilecekleri üzerine düşünce geliştirmeleridir. Mekanların hacim, geometri, boyut, malzeme ve yüzeylerinin doku özelliklerini, işitsel beklentilere göre belirlemeleri sayesinde teknolojik araçların ve yazılım programlarının temsil dili oluşturmada kullanılması, böylece reverberasyon süresi ile tasarımlarını bütünleştirmeleri amaçlanmıştır. Dersin bir diğer amacı; yükseköğretimde etkili olan öğretim metotları göz önünde bulundurularak, dersin interaktif biçimde öğrenci merkezli, katılımcı grup çalışmaları, sunumlar ile zenginleştirilmiş olmasıdır. Dersin sonunda, mevcut işleyiş ve gelecekte nasıl olması gerektiği ile ilgili olarak öğrencilerden geribildirimler alınmasına çok önem verilmiştir.

3.2. Yöntemsel Yaklaşım

Dersin amaçlarına ve hedef çıktılarına bağlı olarak on dört haftalık sürecin ilk yedi haftasında öğrencilerde farkındalık oluşturmaya yönelik teorik anlatımlar, anket, görmeden yürüyüşler (blindwalk), dinleme testleri yapılmıştır. Aynı süreçte işitsel mimarlık projesi tasarlanmış ve animasyon aracı kullanılmıştır. İkinci yedi haftalık süreçte ise salon gezileri ile mimari akustiğin temel özelliklerini yerinde görerek öğrenme ve bilgilerin pekiştirilmesi sağlanmıştır. Akustik mimarlık projesi tasarlanmış ve ODEON simülasyon aracı ile işitselleştirme (auralization) çalışması yapılmıştır. **Şekil 1**'de derste kullanılan yöntemsel yaklaşım görülmektedir.



Şekil 1: Yöntemsel yaklaşım.

3.2.1. Farkındalık yaratmak

Farkındalık yaratmak dersin başlıca hedeflerindendir. Tarih boyunca mimarlık ses ilişkisi örneklerle teorik anlatımlarla öğrencilere aktarılmış ve aşağıda süreç ile ilgili bilgiler verilmiştir.

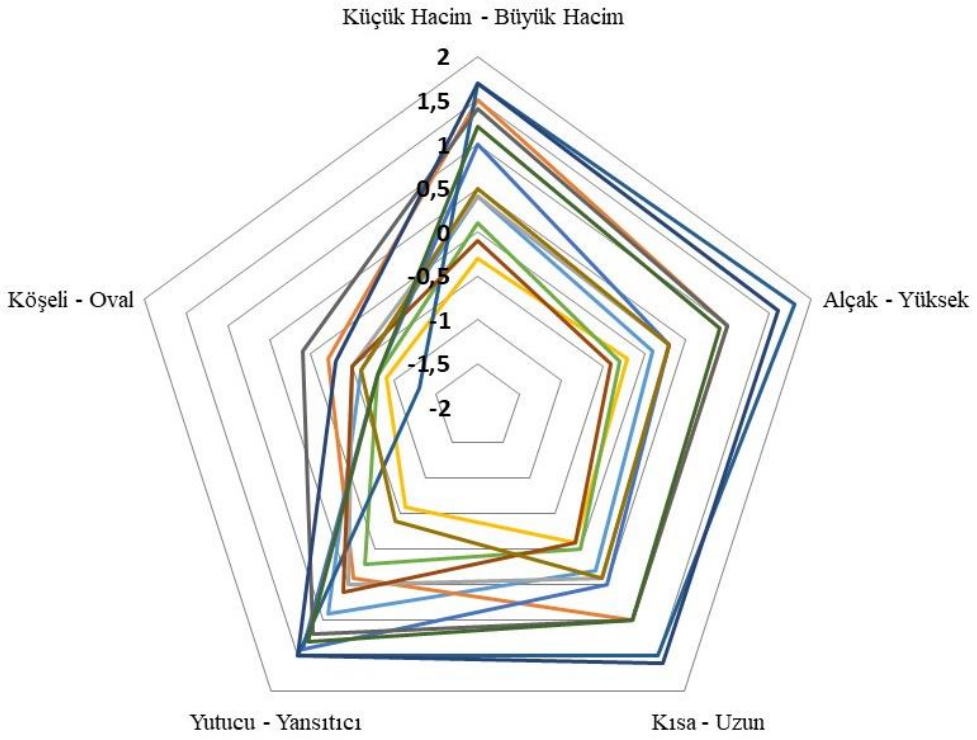
● Anket: Derse başlamadan önce mevcut durumda öğrencilerin ilgi düzeyi belirlenmek istenmiştir. İlgi düzeyi anketi ile belirlenmesi istenen konular ve terimler; işitme, işitsel çevre, işitsel çevrenin mekan algısındaki etkileri, bu etkilerin insanın duygularında oluşturduğu değişimler ve tepkiler, mimari akustiği etkileyen parametreler, tasarımda akustiğin yeri gibi işitsel mekana ait mevcut farkındalıklarının ölçmeye yönelik bilgilerdir. Anketler sonucunda önemli bir bulgu olarak, proje derslerinde performans mekanları dışında işitsel koşullar üzerinde düşünmenin gerekli olmadığı, akustiğin yeterince dikkate alınmadığı görülmüştür.

● Görmeden yürüyüş-1: Kurgu bir mekanın işitsel yönden deneyimlenmesini amaçlamaktadır. Gezi ile işitmenin öneminin anlaşılması ve ses-insan-mekan ilişkisinin farkına varılması sağlanmıştır. Gayrettepe metro istasyonunda kalıcı sergi haline gelen Karanlıkta Diyalog ile görme duyusu tamamen engellenmekte, diğer duyularla hareket edip yön bulma sağlanmaktadır. Özellikle işitmenin etkin rol aldığı bu süreç, öğrenciler için eşsiz bir deneyim olmuştur. (**Şekil 2)**.

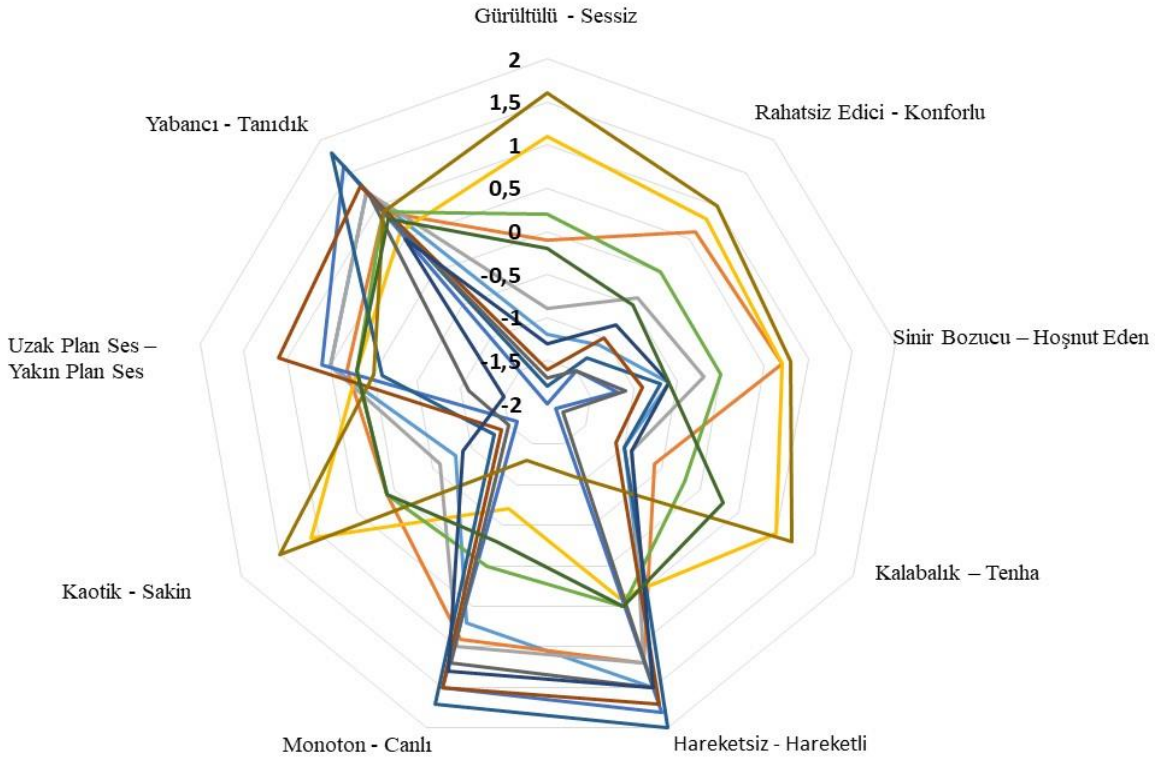


Şekil 2: Karanlıkta diyalog sergisi ile görmeden yürüyüş-1.

● Dinleme testleri: Gerçek 12 farklı mekanın ses kayıtları alınmıştır. Öğrencilere ses kayıtları kulaklık ile dinletilmiş ve öğrencilerden o yerin mimari özellikleri ve işitsel ortamı hakkında fikir yürütmeleri, mekanların mimari özelliklerini ve işitsel ortamını sıfat çiftleri ile tanımlamaları istenmiştir [**12**]. Öğrencinin o mekanı ve oradaki yaşamı işitsel yönden hayal etmesi ve değerlendirme yapma becerisi kazanması amaçlanmıştır. Daha sonra öğrencilerden ses kayıtlarını dinledikleri mekanları, fotoğraflarıyla eşleştirmeleri istenmiştir. Öğrencilerin bazı mekanları eşleştirmede zorluk çektiği görüşmüştür. Sonuçları değerlendirmede Rychtárikov ve Vermeir'in işitsel peyzaj çalışmalarındaki radar grafikleri metodu mimari özellikler ve işitsel ortam tanımlamalarını karşılaştırmak için kullanılmıştır [**13**]. Toplamda 12 farklı mekan her biri farklı renk çizgilerle ifade edilerek, -2:birinci sıfat, 2:ikinci sıfat olacak şekilde bipolar olarak değerlendirilmiştir. **Şekil 3**'te ortalama olarak öğrencilerin mimari özelliklerin tanımlaması hakkındaki değerlendirmeleri görülmektedir. **Şekil 4**'te ise yine ortalama olarak öğrencilerin işitsel ortam tanımlamaları hakkındaki değerlendirmeleri görülmektedir. Radar grafiklerinde oluşan birbirinden farklı desenler, sesin mekanın karakteristiğini belirlemede rol aldığını göstermiştir.

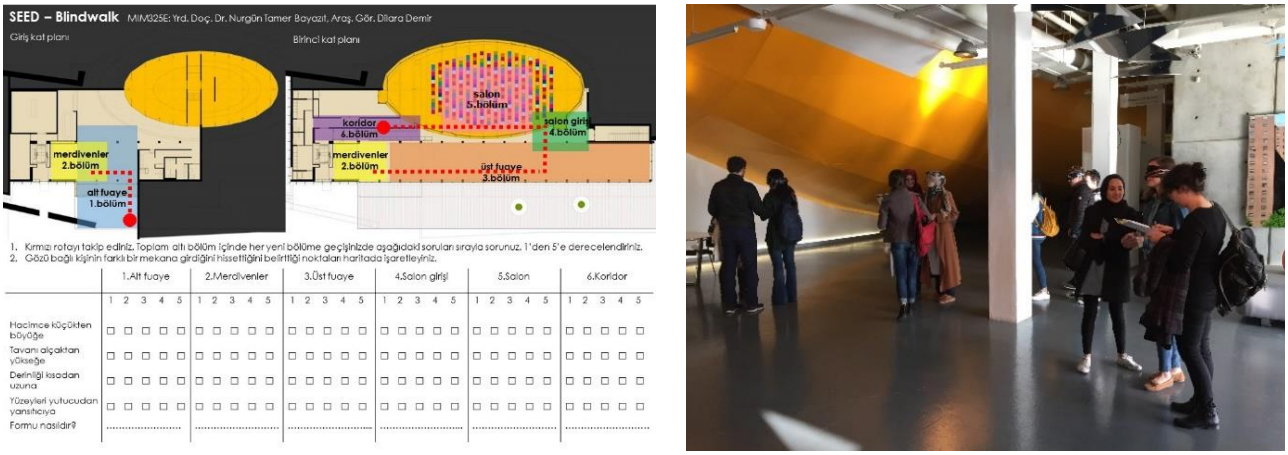


Şekil 3: Mimari özelliklerin tanımlaması ve radar grafiğinde 12 mekanın karşılaştırması.



Şekil 4: İşitsel ortamın tanımlaması ve radar grafiğinde 12 mekanın karşılaştırması.

● Görmeden yürüyüş-2: Gerçek bir mekanda kullanıcının, mimari mekanı işitme üzerinden deneyimlemesidir. Vuksta'nın öğrencilerle yapmış olduğu çalışmaya [**14**] dayanarak, gözleri bağlı, rehber ve kayıt alan 3'erli öğrenci grupları SEED konser salonu içinde belirlenen rotada yürümüşlerdir. Rotayı belirlerken farklı mimari özellikte olduğu düşünülen mekanlarda duraklar yapılmıştır. Rota boyunca alt fuaye, merdivenler, üst fuaye, salon girişi, salon ve koridor olmak üzere 6 durak belirlenmiştir. Gözleri bağlı öğrencilerden yürüyüş sırasında, hacim, yükseklik, derinlik, yüzey malzemelerinin yutuculuk ve yansıtıcılık dereceleri hakkında yalnızca işiterek yargıya varması istenmiştir. **Şekil 5**'te öğrencilere yapılan anket ve alt fuayede yürüyüş sırasında çekilmiş bir fotoğraf görülmektedir. **Şekil 6**'da ise, rota üzerindeki duraklardan sırasıyla üst fuaye, salon girişi ve salona ait görseller yer almaktadır.



Şekil 5: Anket formu ve alt fuayede çekilmiş fotoğraf.



Şekil 6: Merdivenler, üst fuaye, salon girişi ve salona ait görseller.

Öğrencilerin alt fuaye, merdivenler, üst fuaye, salon girişi, salon ve koridorla ilgili algıları **Çizelge 1**'de ortalama olarak gösterilmiş, mekanların yaklaşık fiziksel özellikleri belirtilmiş ve kontrolü sağlanmıştır. Veriler, öğrencilerin görmeden yalnızca işiterek yaptığı tahminlerin büyük çoğunlukla doğru olduğunu göstermiştir. Karıştırılan mekânların birbirine benzer fiziksel özelliklere sahip olduğu anlaşılmaktadır. Öğrencilerin bu deneyim sayesinde, sesin mekân hakkında bilgi vermesi ile ilgili farkındalık kazandığı söylenebilir.

Çizelge 1: Mekanların fiziksel özellikleri ve öğrenciler tarafından algısının karşılaştırması.

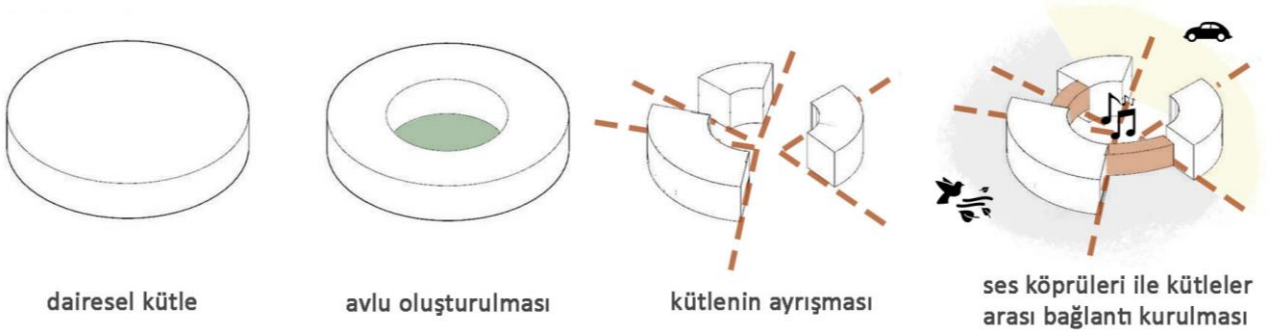
Parametre	Algılanan (ortalama 5-likert)		Fiziksel Özellikler		Kontrol	Parametre	Algılanan (ortalama 5-likert)		Fiziksel Özellikler		Kontrol
Hacim	Merdivenler	1,54	Salon girişi	5 m3	X ?	Derinlik	Merdivenler	1,92	Merdivenler	2 m	√
	Koridor	1,77	Merdivenler	17,6 m3	X ?		Koridor	2,23	Koridor	2 m	√
	Slaon girişi	2,08	Koridor	27 m3	X ?		Salon girişi	2,69	Salon girişi	6 m	√
	Alt fuaye	3,54	Alt fuaye	936 m3	√		Alt fuaye	3,17	Alt fuaye	13 m	√
	Üst fuaye	3,92	Üst fuaye	1134 m3	√		Üst fuaye	4,31	Üst fuaye	29 m	√
	Salon	4,62	Salon	1800 m3	√		Salon	4,33	Salon	42 m	√
Yükseklik	Merdivenler	1,54	Merdivenler	2,2 m	X ?	Yutuculuk/ Yansıtıcılık	Merdivenler	1,92	Duvarda özel yutucu var.		√
	Koridor	2,46	Salon girişi	2,5 m	X ?		Koridor	2,46	Halı kaplı.		√
	Salon girişi	2,68	Koridor	3 m	X ?		Salon girişi	2,75	Ses yalıtımlı kapı ve yüzey.		√
	Alt fuaye	3,08	Alt fuaye	4 m	√		Üst fuaye	2,77	Brüt beton ve cam yüzey.		√
	Üst fuaye	3,23	Üst fuaye	4,5 m	√		Salon	3,31	Akustik tasarım var.		√ ?
	Salon	4,62	Salon	6,5 m	√		Alt fuaye	3,69	Cam cephe yansıtıcı döşeme.		√ ?

3.2.2. İşitsel mimarlık projesi ve animasyon aracı

İşitsel mimarlık projesi ile öğrencilere bir program verilmiş, tasarlayacakları mekanların organizasyonunu, işitsel ortamını da hayal ederek yapmaları istenmiştir. Bütüncül tasarımın bir parçası olarak kullanıcıları, ses kaynaklarını, istenen ve istenmeyen sesleri düşünerek mekanların boyutlarını, hacimlerini ve malzemelerini tasarlamaları beklenmiştir. Öğrenciler, 3'erli 5'erli gruplar halinde tasarım senaryolarını oluşturmuşlar ve işitsel yönden yaptıkları tasarımları eskizlerle ifade etmişlerdir. Sonuç ürün olarak tasarımlarını Solomon'un çalışmasına [**15**] dayanarak sesli animasyonlara dönüştürmeleri istenmiştir.

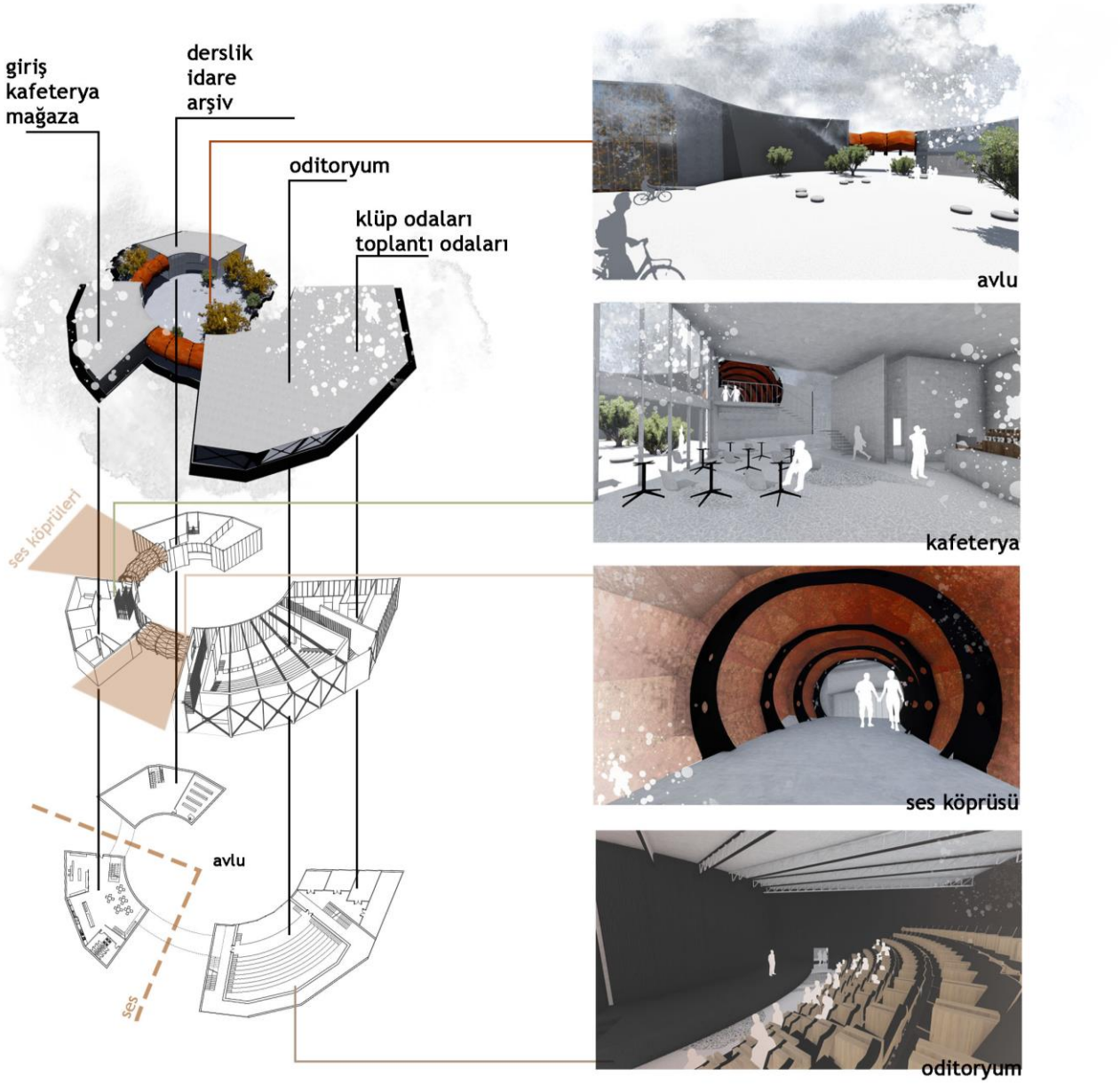
● Program: Öğrencilerden ITU Maslak kampüsünde bir öğrenci sosyal merkezi tasarlamaları istenmiştir. Kullanıcıların öğrenciler ve idari personel olduğu düşünülmüştür. Sosyal merkezde yapılacak aktivite ve kullanıcı eylemleri belirtilmiştir. Bina programında giriş holü, avlu, kafeterya, ıslak hacimler, mağaza, kulüp ve toplantı odaları, derslik/amfi ve idari birimler vardır.

● Mekanların organizasyonu: Ön tasarım aşamasında programda yer alan birimlerin gürültülü, sessiz veya işitsel yönden hayal edildiği şekliyle organizasyonunun yapılması istenmiştir. Öğrenci çalışmalarından bir örnek tasarım aşamaları ile **Şekil 5**'te görülmektedir. İç ve dış mekandaki seslerin gürültüye hassaslık derecesine göre ses köprüleri ile geçişi sağlanmıştır. Ses köprülerinde diğer seslerden bağımsız olarak müziksel mekanlar yaratılmak istenmiştir.



Şekil 5: Öğrenci çalışmalarından tasarım yaklaşım örneği.

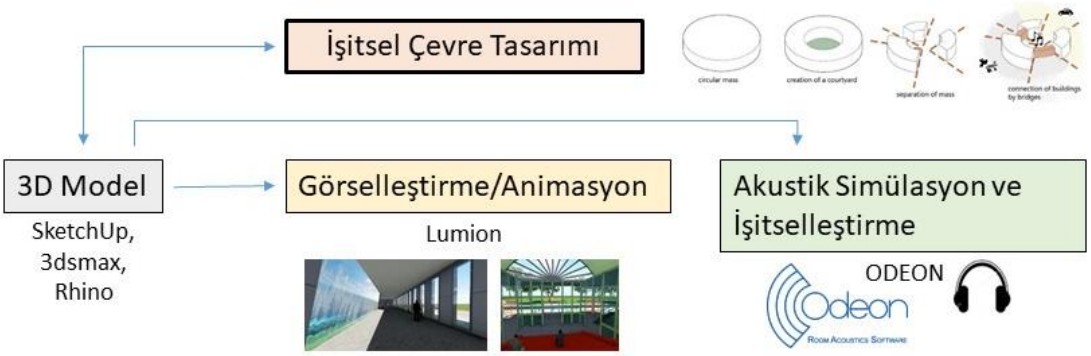
● Ses entegrasyonu ile animasyon: Her grup bu aşamada tasarım kararlarını ön fikir sürecinden modellemeye, hayal ettikleri işitsel koşulları temsil eden ses dosyaları ekleyerek oluşturma sürecine geçmiştir. Entegre edilecek ses kayıtları açık internet kaynaklarından ve kendi kaydedecekleri seslerden oluşmuştur. Tasarım üç boyutlu modellenerek, bir kullanıcı rotası belirlenmiştir. Rotaya kamera yerleştirilerek, Lumion, Sketchup gibi yazılım programları yardımıyla seslerle birlikte işitilen bina içinde gezilen simülasyonlar elde edilmiştir. Simülasyona adobe premiere, movie maker ve sony vegas gibi programlarda, alınan ses kayıtları entegre edilmiş ve eklenmiştir. Ortalama 3'er dakikalık kısa animasyon filmler oluşturulmuştur. Bu çalışma ile öğrenciler hayal ettikleri işitsel ortamı mimari mekan ile bütünleştirmişlerdir.
Şekil 6'da öğrenci çalışmalarından üç boyut ve animasyon örneği görülmektedir.



Şekil 6: Öğrenci çalışmalarından animasyon örneği.

3.2.3. Akustik mimarlık projesi ve simülasyon aracı

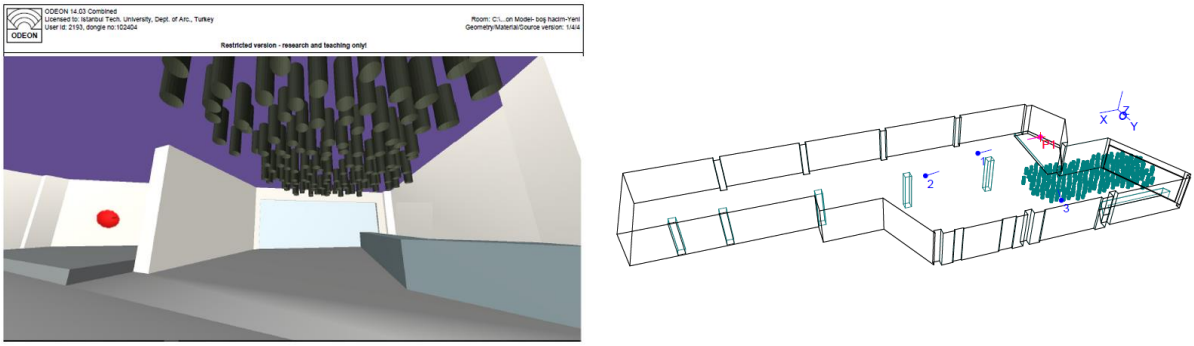
Mimari akustik bilgilerinin pekiştirilmesi için bu aşamada salon gezileri düzenlenmiştir. Ön tasarımda işitsel yönden düşünme becerisi kazanan öğrencinin, akustik mimarlık projesi ile bilgilerini simülasyon aracı kullanarak test etmesi amaçlanmıştır. İşitselleştirme (auralization) yöntemi, bitmiş binalarda sesinin nasıl olacağını anlamak konusunda mimarlara ve mimarlık eğitimine yardımcı olmaktadır. Bu yöntem, geometrileri tasarlayarak ve malzemeleri seçerek salonların akustik özelliklerinin simülasyonu ile üç boyutlu 3D modellemenin bina içinde oluşturduğu sesi dinleme tekniğidir. İşitsel çevre tasarımı için önerilen süreç **Şekil 7**'de özetlenmiştir.



Şekil 7: İşitsel çevre tasarımı sürecinin ilişkileri.

● Salon gezileri: İstanbul öğrencilerin deneyimlemeleri için birbirinden farklı performanslara uygun salonlara ev sahipliği yapmaktadır. Mimari akustik öğrenimi için alan gezileri öğrencilere, gerçek bir deneyim sunmuştur. Zorlu Performans Sanatları Merkezi, İş Sanat ve SEED'e ait salonlar ziyaret edilmiştir. Geziler sırasında salonlarda çalışan teknik ekipler ve akustik ile ilgili uzmanlar ile iletişim kurularak, bu kişilerin öğrencilerle buluşturulması sağlanmıştır. Salonların işitsel veya işlevsel yönden işleyişinde, mimari tasarımdan kaynaklanan sorun ve problemler konuşulmuş, tasarım sonrasında getirilen çözümler tartışılmıştır. Öğrencilerin yerinde bunları deneyimlemesi ve ilgili konularda soru sorma şansı yakalaması ile ön tasarım aşamasında nelere dikkat etmesi gerektiğini fark etmesi sağlanmıştır.

● Odeon simulasyon aracı ile test etme ve işitselleştirme: Öğrenciler öncelikle mekanların hacimlerini hesaplayarak işleve uygun optimum reverberasyon süresini belirlemişlerdir. Ses kaynaklarını ve alıcıları yerleştirdikten sonra yüzey malzemelerinin yutuculuk katsayılarını dikkate alarak **Şekil 8**'deki örnek gibi modelleme yapmışlardır. İşitselleştirme ile mekanları dinleyerek ve test ederek ihtiyaca göre malzemelerde değişiklikler yapmışlardır. Yankısız (anekoik) ortamda kaydedilmiş sesler ve modelledikleri mekanlarda değişime uğrayan seslerin dosyalarını .wav formatında kaydederek sunumlarında kullanmışlardır.



Şekil 8: Öğrenci çalışmalarından örnek olaran ODEON simulasyon aracı ile test etme ve işitselleştirme.

3.3. Öğrenci Geribildirimleri

Dersin çıktılarının amacına ne derece ulaştığını, öğrencilerin gerçekleştirilen ders önerisi ile ne kadar gelişip gelişmediğini anlamak ve gelecek çalışmalara alınan geribildirimlerle ışık tutmak adına, öğrencilere ders sonu ölçme değerlendirme soruları aşağıdaki gibi sorulmuştur:
-Mimarlık eğitimi içerisine, işitsel farkındalığı artırıcı çalışmaların katılmasının faydalı olacağını düşünüyor musunuz? Neden?
-Ders boyunca edindiğiniz deneyimlerinizi daha sonra kullanabilir misiniz? Sizce nerede, nasıl kullanırsınız?
-Ders hakkında olumlu-olumsuz görüş ve önerileriniz nelerdir?
-Ders süresince yapılan çalışmaların size olan katkılarını her bir çalışma için ayrı olarak açıklar mısınız?
Öğrenciler yapılan çalışmaları farkındalık yaratması yönünden faydalı bulmuş ve işitsel mimarlık projesinin ses ile tasarım yapma fikri konusunda onları cesaretlendirdiğini belirtmişlerdir. Mekanların organizasyonu sırasında gürültülü ve sessiz mekanları hiyerarşik biçimde ilişkilendirmişlerdir. Geometri, hacim, yüzey malzemeleri gibi fiziksel özellikleri ses ile nasıl entegre edebileceklerini, tasarıma bunu nasıl yansıtabilecekleri konusunda fikir sahibi olduklarını söylemişlerdir. İleriki çalışmalar için ses kütüphanesi oluşturma önerisi sunmuşlardır. Kendi tasarımlarını dinleme deneyimi ile daha canlı ve dinamik temsil dili oluşturduklarını ifade etmişlerdir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İşitsel çevre ve mimari akustik kullanıcılar üzerinde önemli etkilere sahiptir. Ses mekan hakkında bilgi taşır. Her gün deneyimlenen mekanların birbirinden farklı ses çevreleri o yerin karakterini, işlevini, estetiğini de ortaya koymaktadır. Mimarinin sesi olduğu düşüncesinin öğrencilere kazandırılması ve gelecekte tasarlayacakları mekanların işitsel koşullarını zenginleştirmeleri amacıyla mimarlık eğitimine kavramsal bir öneri, seçme ders yaklaşımı sunulmuştur. Önerilen ders yaklaşımı, mimarlık eğitimindeki klasik akustik eğitimine yeni bir bakış açısı kazandırmaktadır. Alan gezileri ve anketler mimarlık eğitimine katkısı olması yönünden literatür çalışmalarını destekler nitelikte değerlendirmeler yapılmasını sağlamıştır.

Ders ile öğrencilerin elde edecekleri kazanımlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

● Sesin fiziksel ve mekânsal özelliklerini tanıma.
● Mekanın algılanmasında sesin mekan hakkında bilgi taşıdığının ve ‘dinleme’nin öneminin kavranması.
● Anketler, görmeden yürüyüşler, dinleme testleri ve alan gezileri ile farkındalık kazanma.
● Tasarıma işitsel yönden yaklaşma ve yeni bir temsil dili kullanma.
● İşitsel konfor ve estetik gereksinimleri üzerine düşünme, karar verme, hayal edilen ve istenen işitsel çevreyi animasyonla ifade edebilme.
● Mimari akustik modelleme yoluyla yüzey malzemelerini belirleme ve işitselleştirme yapma.

Öğrencilere işitsel mekânsal farkındalık kazandırılması amacıyla bir yöntem önerisi sunabilmek için daha çok sayıda öğrenci ile çalışmalar yapılmalıdır. Mimarlık eğitiminin yalnızca görsel değil işitsel yönden de beslenmesi için daha çok sayıda çalışma yapılmalı ve eğitime bunun nasıl katılabileceği tartışılmalıdır. Gelecekte yapılabilecek çalışmalar ve öneriler şu şekilde sıralanabilir:

Yapılan çalışmaların benzerleri faklı üniversitelerin mimarlık fakültelerinde bir atölye çalışması veya ders kapsamında yapılabilir.
Buna benzer çalışmaların mimarlık eğitiminin kaçıncı yılında verilmesi gerektiği, mimarlık eğitimine hangi süreçte katılması gerektiği de diğer bir tartışma konusu olabilir.
Öğrencilerle iletişimde kalınarak mezun olduktan bir süre sonra profesyonel meslek hayatında bu bilgileri nasıl kullandıkları araştırılabilir.
Ses ve mekan kurgusu, işitsel mekansal farkındalığın mimarlık eğitiminde artırılması, tasarımın zenginleşmesi için bir araç olarak proje derslerinde kullanılabilir.

TEŞEKKÜR

İTÜ Mimarlık Bölümü 2017-2018 güz yarıyılında seçme derse katılan tüm öğrencilere çalışmaları ve görüşleri için teşekkür ederiz. Talayman Akustik’ten Türker Talayman’a SEED konser salonu gezisi sırasında bize katılarak, salonun tasarım ve uygulaması hakkındaki bilgileri öğrencilerle paylaşarak derse katkı sağladığı için teşekkür ederiz. NURUS Firmasına ve Renan GÖKYAY’ a ders sırasında öğrencilerimize yaptıkları değerli sunumları ve DAKAM Kongresine öğrencilerimizin katılımını destekledikleri için ayrıca teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. J., Treasure, ‘‘Why architects need to use their ears’’, TED Talks, (2012).

2. D., Demir, N., Bayazıt, ‘‘Auditory spatial awareness in architectural education’’, ICNTAD, Helsinki-Finland, (2017), pp: 219-230.

3. B., Blesser, L.R., Salter, ‘‘*Spaces Speak, Are You Listening? Experiencing Aural Architecture*’’, Cambridge Ma: The MIT Press, (2007).

4. D. Hendy, ‘‘*Noise: A Human History of Sound & Listening*’’, London, Profile Books, (2013).

5. J., Pallasma, ‘‘*The Eyes of the Skin, Architecture and the Senses*’’, John Wiley & Sons Ltd, (2005).

6. M.,Vitruvius, ‘‘*Mimarlık Üzerine On Kitap*’’ (S. Güven, Çev.). Ankara: Şevki Vanlı Mimarlık Vakfı Yayınları, (2015).

7. M., Long, ‘‘*Architectural Acoustics*’’, California: Elsevier Inc, (2006).

8. R.M., Schafer, ‘‘*Tuning of the World*’’, Alfred A. Knopf Inc, (1977).

9. J., Kang, F., Aletta, T.T., Gjestland, L.A., Brown, D., Botteldooren, B., Schulte-Fortkamp, P., Lercher, I. V., Kamp, K., Genuit, A., Fiebig, J.L.B., Coelho, L. Maffei, and L., Lavia, ‘‘Ten questions on the soundscapes of the built environment’’, *Building and Environment* **108**, (2016), pp:284–294.

10. S.E., Rasmussen, ‘‘*Experiencing Architecture*’’, London, The MIT Press, (1959).

11. R.E., Apfel, ‘‘*Deaf Architects and Blind Acousticians*’’, New Heaven CT: Yale University Press, (1998).

12. S., Bahalı, N., Bayazıt, ‘‘Soundscape research on the gezi park – tunel square route’’, *Applied Acoustics* **116** (2017), pp: 260–270.

13. M., Rychtárikov, G., Vermeir, ‘‘Soundscape categorization on the basis of objective acoustical parameters’’, *Applied Acoustics* **74**, (2013), pp: 240–247.

14. M.A., Vuksta, ‘‘Experiencing architecture: a sensory and creative approach’’, Yale-New Haven Teachers Institute, USA, (2016).

15. J., Solomon, ‘‘Building the soundscape’’, Syracuse University Architecture Program, Presentation, New York, (2012).

3.Ulusal
Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi

10-11 Mayıs 2018
İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul

EĞİTİM BİNALARINDA İŞİTSEL, GÖRSEL VE ISIL KONFOR AÇISINDAN YAPI KABUĞU DEĞERLENDİRMESİ: BİR ORTAÖĞRETİM OKULU ÖRNEĞİ

Araş. Gör. Ahmet Bircan Atmaca[a]
Prof. Dr. Neşe Yüğrük Akdağ[b]
Prof. Dr. Rengin Ünver[c]
Prof. Dr. Gülay Zorer Gedik[d]
Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Beşiktaş, İstanbul, 34349

ÖZET

Eğitim binaları, ülkelerin geleceğine yön veren, sağlıklı ve başarılı bireyler yetiştirilmesi için özel olarak tasarlanması gereken yapılardan biridir. Gerçekleşen en temel eylem 'öğrenme'dir. Bu işlevin verimli bir şekilde gerçekleşebilmesi için, derslik ortamının işitsel, görsel ve ısıl açıdan konforlu olması gerekmektedir.
Günümüzde, her mekânda olduğu gibi dersliklerde de işitsel, görsel ve ısıl konforun sağlanması, enerjinin verimli kullanımı için doğal kaynaklardan her alanda öncelikli olarak faydalanılması gerekir. Doğal kaynakların etkin kullanımı ve dış ortam etkenlerinin denetiminde yapı kabuğu büyük önem taşır. Bu çalışmada, bir ortaöğretim okulu dersliğinin, iç ortam koşullarının işitsel, görsel ve ısıl konfor düzeyinin belirlenmesi, değerlendirilmesi ve iyileştirmesine yönelik temel önerilerinin verilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar sözcükler: Eğitim Binaları, Yapı Kabuğu, İşitsel Konfor, Görsel Konfor, Isıl Konfor

ABSTRACT

Educational buildings belong to such buildings which should be designed in order to create healthy and successful individuals who will shape the future of the countries. The most basic activity that takes place in these buildings is 'learning'. In order for this function to be efficient, the indoor environment should meet the required criteria in terms of thermal, auditory and visual comfort.
At the present time, it is obviously necessary that natural resources should be primarily utilized for an energy efficient design of classrooms as well as all types of architectural spaces, which should also provide auditory, visual and thermal comfort conditions. Building envelope is of great importance in the effective use of natural resources besides in controlling the environmental factors. In this study it is aimed to determine the inner environmental conditions of a secondary school classroom in terms of the auditory, visual and thermal comfort levels, to make an evaluation and to give basic suggestions for improvement.

Key words: Educational Buildings, Building Envelope, Auditory Comfort, Visual Comfort, Thermal Comfort

[a] e-posta adresi: abatmaca@yahoo.com
[b] e-posta adresi: neseakdag@gmail.com
[c] e-posta adresi: renginunver@gmail.com
[d] e-posta adresi: ggedik@yildiz.edu.tr

1.GİRİŞ

Eğitim binaları, eğitim ve öğretim faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla inşa edilen, derslik, laboratuvar, konferans salonu, yönetim odaları gibi birimlerden oluşan yapılardır. Eğitim binalarının temel birimleri dersliklerdir. Dersliklerde gerçekleşen öğretmen-öğrenci arasındaki öğretme-öğrenme işlevlerinin verimli ve sağlıklı bir şekilde ilerlemesi ortam konforunun gerekli koşullarda olmasına bağlıdır. Dersliklerin konfor düzeyi, ortamın işitsel, görsel ve ısıl konforuna göre değişim göstermektedir.
Bu çalışmada, bir ortaokul binası yapı kabuğunun derslik konfor koşullarına etkisinin işitsel, görsel ve ısıl açıdan incelenmesi, değerlendirilmesi ve iyileştirilmesine yönelik temel önerilerinin verilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında öncelikle yapı fiziği parametrelerine göre dersliklerde sağlanması gereken konfor koşulları verilmiş ardından örnek bir derslikte işitsel, görsel ve ısıl konfor ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları, ilgili standart ve yönetmeliklere göre değerlendirilmiştir.

2. YAPI FİZİĞİ PARAMETRELERİNE GÖRE KONFOR KOŞULLARI

Dersliklerde sağlanması gereken işitsel, görsel ve ısıl konfor koşulları ile ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir.

2.1. İşitsel Konfor

Dersliklerde uygun akustik koşulların oluşturulması, hacmin biçim, boyut, büyüklük gibi fiziksel parametrelerinin yanı sıra, hacmin yansışım süresi ve arka plan gürültüsü gibi akustik özelliklerine bağlıdır.
Türkiye'de yürürlükte olan "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi" (ÇGDY) yönetmeliğine göre, dersliklerde kabul edilebilir gürültü düzeyi pencereler kapalı iken 35 L_{Aeq}, pencereler açık iken 45 L_{Aeq}'dır **[1].** "Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkındaki Yönetmelik" te de, dersliklerde aşılmaması gereken gürültü düzeyi limiti 35 L_{Aeq} olarak verilmektedir. Aynı yönetmelikte, derslikler için yansışım süresi optimum değeri 0.8 saniye olarak belirtilmektedir **[2].**
Hacimlerde kabul edilebilir gürültü düzeyinin frekanslara göre değerlendirilmesine olanak tanıyan ölçütlerden NCB eğrilerinde derslikler için belirtilen sınır değerler NCB 30 ve 40 eğrileridir **[3].** Eğitim-öğretimin çevresel gürültüden en az düzeyde etkilenmesini sağlamak amacıyla, pencereler kapalı iken alt sınır olan NCB 30 eğrisi, pencereler açık iken NCB 40 eğrisi, sağlanması gereken sınır değerler olarak kabul edilmiştir **[4].** NCB 30 ve NCB 40 eğrilerinin frekans fonksiyonundaki değerleri ile toplam düzey olarak sınır değerler Çizelge 1'de yer almaktadır.

Çizelge 1. Dersliklerde kabul edilebilir gürültü düzeyi sınır değerleri

Kabul Edilebilir Gürültü Düzeyi (dB)	**125Hz**	**250Hz**	**500Hz**	**1000Hz**	**2000Hz**	**4000Hz**	**L_{Aeq}**
Pencereler kapalı (NCB 30)	46	40	35	32	28	25	35
Pencereler açık (NCB 40)	54	49	45	42	38	35	45

2.2. Görsel Konfor

Dersliklerde görsel konfor açısından, öğrencilerin konuşmacıyı ve anlatılanları sağlıklı bir şekilde algılayabilmesi, eğitim-öğretim faaliyetlerinin verimli devam edebilmesi için gerekli koşullar sağlanmadığında kullanıcılarda algılama yanlışlıkları, algılama güçlüğü, dikkat dağınıklığı, çabuk yorulma, sinirlilik gibi fizyolojik ve psikolojik rahatsızlıklar oluşabilmektedir **[5].**
Çalışma kapsamında görsel konfor parametrelerinden ortalama aydınlık düzeyi (Em) ve aydınlık düzeyinin dağılımı (U_0) ele alınmıştır. Türkiye'de yürürlükte olan "Işık ve Aydınlatma-Çalışma yerlerinin aydınlatılması-Bölüm 1:Kapalı çalışma alanları (TS-EN 12464-1: 2011)" standardında dersliklerde sağlanması gereken en az ortalama aydınlık düzeyi (Em) 300 lx, aydınlık düzeyinin düzgünlüğü (U_0) ise 0,6 olarak belirtilmiştir **[6].**

2.3. Isıl Konfor

İç ortam ısıl konfor koşulları, öznel ve nesnel olmak üzere iki grup parametreden oluşmaktadır. Öznel parametreler kullanıcı yaşı, sağlık durumu, cinsiyet, etkinlik düzeyi, giysi yalıtım düzeyi olarak sıralanabilir. Nesnel parametreler hava sıcaklığı, ortalama ışınımsal sıcaklık, bağıl nem, hava devinimlerinden oluşmaktadır.
ASHRAE-55 ve ISO 7730 standartlarında bulunan PMV (Tahmini Ortalama Oy)-PPD (Tahmini Memnuniyetsizlik Oranı) Isıl Konfor değerleri, çalışma kapsamında hacmin değerlendirilmesinde kullanılacak sınır değerler olarak kabul edilmiştir. Çalışma kapsamında örnek olarak alınan ortaöğretim okul binası, yenilenmiş ve mevcutta kullanım durumunda olan binalar sınıfında bulunduğu için ısıl konfor düzeyi +0,5>PMV>-0,5 ve PPD<%10 aralıklarına göre değerlendirilmiştir **[7].**

3. ORTAÖĞRETİM OKUL BİNASI DERSLİĞİNDE KONFOR KOŞULLARININ BELİRLENMESİ

Çalışma kapsamında incelenmek üzere seçilen ortaöğretim okul binası, İstanbul ili, Beşiktaş ilçesinde yüksek düzeyli karayolu gürültüsü olan Barbaros Bulvarı üzerinde yer almaktadır. Okul binası çevresinde, günışığı aydınlık düzeyini etkileyecek doğal veya yapay engel bulunmamaktadır. Bina, ılıman nemli iklim tipi özelliklerinin yaşandığı bir bölgede yer almaktadır. Şekil 1'de bina konumu ve görseli sunulmuştur.
Okul binası, 22 derslik, 1 konferans salonu, 3 laboratuvar, müzik-resim atölyeleri, yemekhane ve 693 kişilik öğrenci kapasitesine sahiptir. Eğitim-öğretim faaliyetleri, hafta içi 09.00-15.00 saatleri arasında yürütülmektedir. Çalışmada incelenen derslik hacmi, okul binasının doğu cephesinde ve 1. katında yer almaktadır.



Şekil 1: Ortaöğretim okul binası konumu ve doğu cephesi **[8,9]**



Şekil 2: Okul binası 1. kat planı ve örnek derslik hacmi

Şekil 2'de okul binasında örnek olarak seçilen dersliğin bulunduğu kat planı yer almaktadır. 24 öğrenci kapasitesine sahip olan derslik hacminin eni 7,0 m, boyu 8,2 m, yüksekliği 3,45 m'dir. Derslikte döşeme reçine özlü linolyum malzemesi ile kaplanmış, tavan ve duvarlarda çimento sıva üstüne plastik boya kullanılmıştır. Saydam alanlarda 16 mm hava boşluklu 6 mm kalınlığında Low-e kaplamalı çift cam bulunmakta olup parapet yüksekliği 85 cm'dir. Yapı kabuğundaki dolu alanlar alüminyum giydirme cephe ile kaplanmıştır. Dolu alanlarda 5 cm ısı yalıtımı kullanılmıştır. Isıtma döneminde sıcak sulu merkezi ısıtma sistemindeki radyatörler aracılığıyla ısıtılan derslik hacmi, soğutma döneminde split klima ile serinletilmektedir. Derslik pencerelerden giren günışığına ek olarak 6 adet doğrusal flüoresan lambalı aygıt ile aydınlatılmaktadır. Derslik iç mekân görseli Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 3: Örnek derslik hacmi görseli **[9]**

3.1. Örnek Derslik Yapı Fiziği Parametreleri Konfor Düzeyleri

Çalışma kapsamında değerlendirmeye alınan derslikte işitsel, görsel ve ısıl konfor düzey ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümler Aralık 2017, Ocak ve Şubat 2018 aylarında, 12.00-14.00 saatleri arasında yapılmıştır.

3.1.1. Örnek Derslik İşitsel Konfor Düzeyi

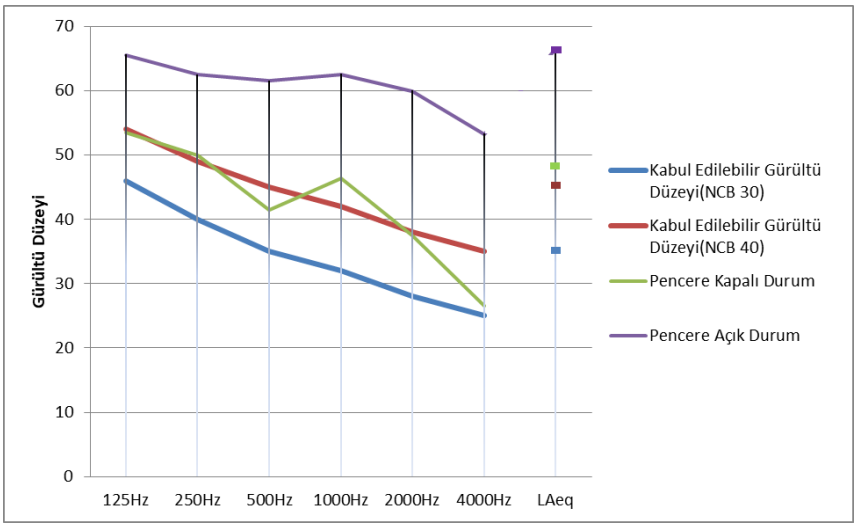
Barbaros Bulvarı üzerinde yer alan okul binası, yüksek düzeyli karayolu gürültüsünden etkilenmektedir. Örnek dersliğin akustik açıdan mevcut durumunu belirlemek amacıyla, gürültü düzeyi ölçümleri yapılmıştır. TS ISO 1996-2'ye uygun olarak gerçekleştirilen ölçümlerde, Bruel&Kjaer Ses Düzeyi ölçer (Type 2250) kullanılmıştır. Gürültü düzeyi ölçümleri, 31 Ocak 2018 tarihinde 13.00-14.00 saatleri arasında gerçekleştirilmiştir. Şekil 4'te görüldüğü gibi, pencere yakınında, orta alanda ve iç duvar yakınında belirlenen üç ayrı noktada, frekansa göre gürültü dağılımını ve toplam düzeyi belirlemek üzere, 15'er dakikalık ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümler sırasında öğrencilerin bulunmaması nedeni ile sınıfın yalnızca karayolu gürültüsünden etkilenme durumunun belirlenmesi olanaklı olmuştur. Pencerelerin açık ve kapalı durumları için gerçekleştirilen ölçme sonuçları Çizelge 2'de sunulmuştur. Şekil 5'te ise, ölçme sonuçları, dersliklerde kabul edilebilir gürültü düzeyleri ile birlikte yer almaktadır.



Şekil 4. Örnek derslikte belirlenen gürültü düzeyi ölçüm noktaları

Çizelge 2. Derslikte mevcut gürültü düzeyleri

Standart/Yönetmelik Değerleri		**125Hz**	**250Hz**	**500Hz**	**1000Hz**	**2000Hz**	**4000Hz**	**LAeq**
Pencere Kapalı Durum (NCB 30)		46	40	35	32	28	25	35
Pencere Açık Durum (NCB 40)		54	49	45	42	38	35	45
Hacim İçi Mevcut Gürültü Düzeyleri								
Pencere Kapalı Durum	1. Nokta(K)	53,8	49,4	42	46,5	38,1	28,9	49
	2. Nokta(K)	54,2	51,1	42,3	46,8	38,1	27,6	49,3
	3. Nokta(K)	52,5	49,2	40,2	45,7	36,1	23,1	47,9
	Ortalama(K)	**53,5**	**49,9**	**41,5**	**46,3**	**37,4**	**26,5**	**48,7**
Pencere Açık Durum	1. Nokta(A)	68,1	64,3	63,4	62,8	60,9	54,9	67,4
	2. Nokta(A)	64,5	61,2	60,4	63	60,3	54,3	66,6
	3. Nokta(A)	64,1	61,8	60,9	61,9	58,7	50,6	65,5
	Ortalama(A)	**65,6**	**62,4**	**61,6**	**62,6**	**60,0**	**53,3**	**66,5**



Şekil 5. Derslikte gürültü düzeyi ölçüm sonuçları

Şekil 5'te yer alan ölçme sonuçlarına bakıldığında, hem frekans fonksiyonunda, hem de toplam düzey olarak derslikte, kabul edilebilir gürültünün oldukça üstünde kalan değerlerin söz konusu olduğu görülmektedir. Ölçülen değerler, toplam gürültü düzeyi olarak, pencereler kapalı iken, yaklaşık 14 dBA, açık iken 22,5 dBA kadar, kabul edilebilir gürültünün üzerindedir. Frekans fonksiyonunda da gürültünün, tüm frekanslarda kabul edilebilir değerlerin çok üzerinde olduğu belirlenmiştir.

Konuşmanın anlaşılabilirliği açısından önemli bir parametre olan yansışım süresi, Sabine yansışım süresi formülü yardımı ile hesaplanarak, derslik iç yüzey gereçlerinin ve mobilyalarının ses yutma çarpanı değerleri tahmin yöntemiyle belirlenmiştir. Dersliğin ortalama yansışım süresi 125 Hz-4000 Hz arasında altı oktav bant için gerçekleştirilen hesap sonuçlarının ortalaması alınarak 2,3 saniye bulunmuştur. Bu değer, Binaların Gürültüye Karşı Korunması Yönetmeliğinde, derslikler için verilen 0,8 saniyenin oldukça üzerindedir. Bu nedenle, derslikte yeterli anlaşılabilirlik koşullarının yeterince sağlanamadığı görülmektedir.

3.1.2. Örnek Derslik Görsel Konfor Düzeyi

Çalışmanın temel hedefi yapı kabuğu özelliklerinin derslikteki görsel konfor koşullarına etkisinin belirlenmesi olduğundan, bu bölümde doğal aydınlatma sisteminin derslikte oluşturduğu aydınlık düzeyleri ve aydınlık dağılımı konuları ele alınmıştır. Çizelge 3'te derslik iç yüzeylerinin ışık yansıtma çarpanları ve saydam alanların (pencerelerin) özellikleri sunulmuştur.

Çizelge 3. Derslik yüzeyleri ve saydam alan özellikleri

Yüzeylerin Işık Yansıtma Çarpanı				**Saydam Alan Özellikleri**				
Tavan	Döşeme	Duvar (alt bölüm)	Duvar (üst bölüm)	Duvar Alanı	Pencere Alanı	Pencere Boyutu-Sayısı	Saydamlık Oranı	Işık Geçirme Çarpanı
72%	30%	42%	56%	19,11m^2	9,18m^2	2,55x1,8m-2	31%	41%

Günışığı aydınlık düzeyi ölçümleri 21 Aralık 2017, 21 Ocak 2018, 21 Şubat 2018 tarihleri, gerçek yerel zamana göre 12.00-12.30 saatleri arasında gerçekleştirilmiştir. Testo 540 Aydınlık Düzeyi Ölçer kullanılan ölçümler TS-EN 12464-1 standardında verilen değerlere uygun olarak, döşemeden 80 cm yükseklikteki 70-80 cm aralıklı yatay bir ızgara üzerinde 90 adet noktada

gerçekleştirilmiştir **[6].** Dış yatay aydınlık düzeyi ölçümleri engelsiz, açık alanda, zemin kotunda yapılmıştır. Çizelge 4'te ölçümlerin yapıldığı gün ve saatlerdeki dış yatay aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları ile gök koşullarının görselleri sunulmuştur.

Çizelge 4: Ölçüm günleri gök koşulları ve dış yatay aydınlık düzeyleri

Tarih/Saat	**21 Aralık 2017/12.00**	**21 Ocak 2018/12.00**	**21 Şubat 2018/ 12.00**
Gök Koşulları	Kapalı Gök	Ortalama Gök	Kapalı Gök
Aydınlık Düzeyi	12835 lx	40457 lx	14682 lx
Gök Durumu			

Derslik hacmindeki yapay aydınlatmaların kapalı durumda olduğu 3 farklı tarihte yapılan günışığı ölçümlerinde çalışma düzleminin günışığı aydınlık düzeyi Çizelge 5'te gösterilmiştir.

Çizelge 5: Derslik çalışma düzlemi günışığı aydınlığı

Ölçüm Yeri - Yüksekliği	**Günışığı Aydınlık Düzeyi(E;lm/m^2)**				**TS EN 12464-1 Standartı Değerleri**
	Ölçüm Tarihi	21 Aralık 17	21 Ocak 18	21 Şubat 18	
		12.00-12.30	12.00-12.30	12.00-12.30	
Çalışma Düzlemi 80 cm	Emin.	1	46	4	
	Emax.	75	529	102	
	Em	14,77	127,66	31,14	300
	U_0	0,067	0,36	0,12	0,6≤

Derslik hacmi günışığı ölçüm sonuçlarına göre ortalama yatay aydınlık düzeyi (Em) ve aydınlığın düzgün dağılımı (U_o) açılarından standart değerler sağlanamamakta ve pencereden uzaklaştıkça günışığı aydınlık düzeyi hızlı bir biçimde azalmaktadır. Ayrıca 21 Aralık ve 21 Şubat tarihlerinde gerçekleşen kapalı gök koşullarında ortalama aydınlık düzeyi ve aydınlık düzeyinin düzgün dağılımına ilişkin değerler 21 Ocak'a göre daha da düşük çıkmıştır. Sonuç olarak derslik hacmi içinde görsel konfor koşulları günışığı aracılığıyla sağlanamamaktadır.

3.1.3. Örnek Derslik Isıl Konfor Düzeyi

Okul binasının doğu cephesindeki dersliklerde, soğutma amacıyla kullanılan split klimalar bulunmaktadır. Isıtma sistemi radyatörler aracılığıyla merkezi sistem ile sağlanmaktadır. Binanın yapı kabuğu, alüminyum ve cam malzemelerle giydirme cephe sistemiyle oluşturulmuştur. Pencereler Low-e kaplamalı ısıcam özelliğinde olup, 1,66 W/m^{2}K ısı geçirgenlik katsayısına (U değeri) sahiptir. Dolu alanların toplam ısı geçirgenlik katsayısı 0,33 W/m^{2}K'dir (Çizelge 6).

Çizelge 6. Yapı kabuğu dolu alanların malzeme özellikleri

Yapı Kabuğu Malzemeleri	Alüminyum Kaplama	Hava Boşluğu	Isı Yalıtımı	Delikli Tuğla	İç Sıva	Dolu Alan U Değeri	Saydam Alan U Değeri
Kalınlık	0,002 m	0,5m	0,05m	0,02m	0,002m	0,33 W/m^{2}K	1,66 W/m^{2}K

Ölçümler 07.02.2018 tarihinde 13.10-13.50 saatleri arasında ortalama gök koşullarında gerçekleştirilmiştir. Ölçüm günü dış hava sıcaklığı 13,9 ^{o}C, hava nemi %60,3, hava hareketi hızı 0,7 m/s'dir. Testo 480 Isıl Konfor cihazı ile gerçekleştirilen ölçümlerde ısıl konfor parametrelerinden giysi yalıtım değeri iç ortam kış dönemi giysi türlerine göre 0.7 clo, etkinlik düzeyi yapılan işleve göre 1.1 met olarak tanımlanmıştır. Ölçümler ders dinleyen kişi yüksekliğine göre 1.1 m'de gerçekleştirilmiştir. Derslik hacminde ölçümler 5 farklı noktada 5'er dakikalık süreler şeklinde yapılmıştır. Ölçümlerde her noktada ölçüme başlanmadan önce cihaz yeni konumuna alışıp değerler durağan hale gelene kadar yeterli süre beklenmiştir. Ölçüm anında derslikte 25 kişi bulunmaktadır.



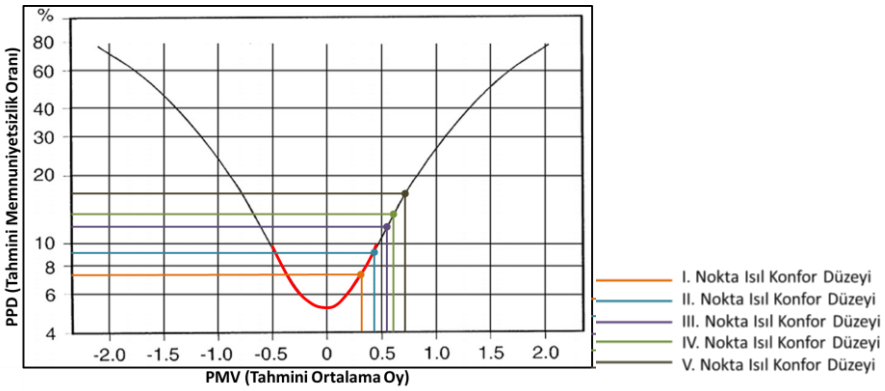
Şekil 6: Derslik çalışma düzlemi ortalama aydınlık düzeyi

Şekil 6'da belirtilen 1 ve 2 ölçüm noktaları iç bölgede yer alan öğrencilerin ısıl konforunu, 3 numaralı ölçüm noktası orta alanda oturan öğrencilerin ısıl konforunu, 4 ve 5 numaralı ölçüm noktaları pencere ile ısıtıcı önünde oturan öğrencilerin ısıl konforunu belirlemek amacıyla seçilmiştir. Ölçümlerde kapı ve pencereler kapalı durumda bulunmaktadır.

Çizelge 7: Derslik hacmi ısıl konfor ölçüm sonuçları

Isıl Konfor Parametreleri	I. NOKTA	II. NOKTA	III. NOKTA	IV. NOKTA	V. NOKTA	ISO 7730 Std.
PMV	0,33	0,44	0,55	0,62	0,72	±0,5
PPD (%)	7,5	9	11,4	13,1	15,9	< %10
Hava Sıcaklığı (°C)	24,7	25,8	26,5	26,8	27	22 ± 3
Ortalama Işınımsal Sıcaklık (°C)	24,9	25,8	26,1	26,5	26,6	
Hava Nemi (%)	39,1	39,9	39,1	39,5	44,4	%40-60
Hava Hızı (m/s)	0,07	0,08	0,08	0,09	0,09	0,21

Çizelge 7'de ölçüm noktalarına göre PMV-PPD değerleri ve ısıl konfor parametrelerinin ölçüm değerleri yer almaktadır. Derslik içinde hava sıcaklığı ölçüm başlangıcından bitimine kadar geçen 40 dk süresince 2,5^{o}C yükselmiştir. Bağıl nem %5 artış göstermiştir. Isıl konfor düzeyini belirleyen parametrelerin zamanla yükselmesi sonucu ısıl konfor aralığında bulunan ortam konfor değerleri ölçüm süresinin sonunda konfor aralığının dışında kalmıştır.



Şekil 7: Ölçüm noktaları ısıl konfor düzeyleri

Şekil 7'de belirtilen ölçüm sonuçlarında 3, 4 ve 5. noktalardaki sonuçlar konforsuz bölgede yer almaktadır. Zamanla kişilerden kaynaklanan ısı kazancı, ortamın hava sızdırmazlığı, radyatörlerden gelen fazla ısı enerjisi sonucunda, 40 dk toplam ölçüm süresi sonunda ısıl açıdan dersliğin bütünü konforsuz duruma gelmiştir. Ölçüm süresi sonunda, derslik ısıl konforunun Bölüm 2.3.'te verilen standart değerleri sağlayamadığı belirlenmiştir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME ve SONUÇ

Çalışma kapsamında değerlendirmeye alınan derslikte işitsel, görsel ve ısıl konfor düzeylerinin belirlenmesine yönelik yapılan incelemeler sonucunda aşağıda belirtilen değerlendirmelere ulaşılmıştır.

Çizelge 8: Derslik konfor koşullarının standartlara göre değerlendirilmesi

	İşitsel Konfor		**Görsel Konfor**		**Isıl Konfor**	
	Gürültü Düzeyi (LAeq)	Yansışım Süresi	Ortalama Aydınlık Düzeyi	Aydınlığın Düzgün Dağılımı	PMV	PPD
Sağlanması Gereken Değer	35 (Pencere Kapalı) / 45(Pencere Açık) dBA	≤ 0,8 sn	≥ 300 lx	≥ 0,6	± 0,5	< % 10
Mevcut Değer	48,7/66,5 dBA	2,3 sn	57,85 lx	0,18	+ 0,53	% 11,38

- Çizelge 8'de görüldüğü gibi, derslikte işitsel, görsel ve ısıl konfor koşullarının incelenen ilgili parametreler açısından olumlu olmadığı saptanmıştır. Derslik yapı kabuğunun saydam ve dolu alanları yeterli ses yalıtımını sağlayamamakta, ayrıca görsel konfor açısından gereken günışığı aydınlığı için saydamlık oranı (pencere alanları) yetersiz kalmaktadır. Ayrıca aydınlık düzeyinin yükseltilebilmesi için mevcut camdan (%41) daha yüksek ışık geçirgenliğine sahip camlar kullanılabilir. Ancak değerlendirmeler günışığının en düşük olduğu günlerde yapılmıştır. Doğal aydınlatma sistemlerinin tüm kullanım saatlerinde konfor koşullarını sağlaması beklenemez, verimli aktif sistemlerin kullanılması ve doğru biçimde entegre edilmesi gerekir.
- Derslik hacminde işitsel, görsel ve ısıl konfor düzeyinin kabul edilebilir düzeylerde bulunması için yapı kabuğu saydam ve dolu alanlarının özellikleri büyük öneme sahiptir. Bu bağlamda

tasarım aşamasında, yapı kabuğunda kullanılacak malzemelerin özellikleri ve saydam-dolu alan oranları özenle belirlenmelidir.

- Ses yalıtımı için yeterli kütle ağırlığına sahip kesitler kullanılmalı, gerektiğinde arada hava boşluğu bulunan çok katmanlı uygulamalar yapılmalıdır. Ayrıca, derslikler için önerilen yansışım süresini sağlamak üzere, iç yüzeylerde yeterli ses yutucu gereç kullanımına gidilmelidir.
- Hacim içindeki aydınlık düzeyinin yükseltilmesine katkı sağlamak amacıyla tavan ve iç duvar yüzeyleri ışık yansıtma çarpanı yüksek malzemelerle kaplanmalıdır. Ayrıca, günışığı aydınlığının yetersiz olduğu durumlarda yapay aydınlatmadan yararlanılarak bütünleşik aydınlatma sistemleri kurgulanmalıdır. Enerji korunumu açısından, yapay aydınlatmalarda günışığa bağlı kontrol sistemleri kullanılmalıdır.
- Binanın ısıtma, soğutma ve havalandırmasında, mekanik sistemlerle yapı kabuğunun bütüncül şekilde ele alınarak tasarlanması, boyutlandırma ve kullanımında otomasyon ya da manuel denetim ile gereksiz enerji harcamasının önüne geçilmesi önem taşımaktadır.
- Saydam alanların düzenlenmesinde, güneş ışınımları aracılığıyla hacmin ısıtılmasını, mevcut ısıl konforun dengede tutulmasını ve günışığının optimum düzeyde iç ortama aktarılmasını sağlayan bütünleşik cam sistemlerinden yararlanılmalıdır.

Çalışma sonuçlarından görüldüğü gibi, yapı kabuğu tasarımında, işitsel, görsel ve ısıl konfor koşullarının yeterince değerlendirmeye alınmadığı durumlarda, hacim içinde uygun konfor koşullarının elde edilmesi çok güç, hatta olanaksız olmaktadır. Uygun ortam koşulları oluşmadığında, hacim kullanıcılarında çeşitli fizyolojik-psikolojik rahatsızlıklar, derslik örneğinde olduğu gibi eğitim-öğretimde verimin azalması vb. biçimlerde ortaya çıkan olumsuzluklar nedeniyle, hem birey, hem de ülke ölçeğinde istenmeyen durumların oluşması kaçınılmazdır. Yapı kabuğunun ses, ışık ve ısı açısından gerekli konforu sağlayacak biçimde tasarlanması ve uygulanması, ileride düzeltilmesi teknik açıdan çok güç, hatta kimi zaman olanaksız, maddi açıdan da çok masraflı, zorlayıcı çözümlere gidilmesine engel olacaktır. Bu açıdan, ülkemizde işitsel ve ısıl konfora ilişkin yürürlükte bulunan yönetmeliklerin uygulanmasının sağlanması ve denetiminin daha etkin bir biçimde gerçekleştirilmesi, görsel konfora ilişkin yeni yönetmeliklerin oluşturulması önem taşımaktadır. Ayrıca, ülkemiz öz kaynaklarından etkin bir biçimde yararlanmak ve kullanıcılara konforlu ortamlar sağlayabilmek için, sadece bu çalışma kapsamında değerlendirmeye alınan eğitim yapıları için değil, tüm yapı tiplerinin ele alındığı, ses, ışık ve ısı konularının birlikte değerlendirilerek, tasarımcıya ve mimara yol gösterecek optimum çözümlerin verildiği, mimariye yönelik yönetmeliklerin düzenlenmesinin son derece yararlı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. T.C. Resmi Gazete, Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği. (27601),2010.
2. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, "Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yalıtımı Yönetmelik"; http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/05/20170531.pdf, 2017.
3. TS ISO 1996-2, Çevre gürültüsünün tarifi, ölçülmesi ve değerlendirilmesi - Bölüm 2: Çevre gürültü seviyelerinin tayini, 2009.
4. Z. Maekawa, "Environmental and architectural acoustics", E & FN SPON, London, 1994.
5. R. Ünver, "Eğitim yapılarında konfor ne demek?", Led&Lighting Dergisi, 16, pp: 114-121, 2015.
6. TS-EN 12464-1: 2011, Işık ve aydınlatma-çalışma yerlerinin aydınlatılması-Bölüm 1:Kapalı çalışma alanları, 2011.
7. ANSI/ASHRAE Standard 55-2013, "Thermal environmental conditions for human occupancy", american national standards institute, 2013.
8. Google Maps (Erişim Tarihi:12.02.2018)
9. Ahmet Bircan Atmaca Fotoğraf Arşivi.

3.Ulusal
Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi

10-11 Mayıs 2018
İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul

AYDINLATMANIN RENK TASARIMINDAKİ ROLÜ VE YAŞAM ODASI RENK TERCİHİNE ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Fazıla DUYAN[a]
Doğuş Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü
Prof. Dr. Rengin ÜNVER[b]
Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü

ÖZET

Bu bildiride, aydınlatan ışığın iç mekân renk tasarımına etkisi ortaya koymak ve kullanıcı renk tercilerini belirlemeye yönelik deneysel bir araştırmanın sonuçları sunulmuştur. Araştırmanın yöntemi, bir deney mekânında iki farklı renksel özellikteki ışık kaynağı altında, Munsell Renk Dizgesi 'ne göre farklı değer ve doymuşluktaki tür örneklerinin deneklere gösterilmesi, deneklerin yaşam odası için duvar renk tercihlerinin belirlenmesi, elde edilen bulguların değerlendirilmesi olarak özetlenebilir. Çalışmanın bulguları, yaşam odası duvar rengi seçimlerinde hem ışık kaynağı renginin hem de cinsiyete göre ayrımların olduğunu göstermektedir.

Anahtar sözcükler: Aydınlatma, Işık rengi, Yaşam odası, Duvar rengi, Kullanıcı renk tercihleri

ABSTRACT

In this paper, the results of an experimental research to determine the user's color preference and the effects of the illuminant on the color designs were presented. The method of the research can be summarized as the presentation of different values and saturated painted samples prepared according to the Munsell Color System to the subjects, the determination of the wall color preferences for the living room and the obtained evaluation of findings. The results of the study show that there are differences in color choices and sex differences under different light sources.

Key words: Lighting, Colour of light, Living room, Wall colour, User preferences

[a] faziladuyan@gmail.com
[b] renginunver@gmail.com

1.GİRİŞ

Kapalı bir hacmin tüm iç yüzeyleri (tavan, duvar, döşeme) mekân algısı ve donatılara fon oluşturarak donatı algısında rol oynarlar. Ancak duvarlar, tavan ve döşeme yüzeylerine göre görme alanında daha büyük bir alan kapladıklarından etkileri de daha güçlüdür. Bu bağlamda, duvar renkleri hem iç mekân donatıları ile estetik uyum hem de kullanıcıların renk seçimi bakımlarından önem taşır. Bir hacmin duvar renklerin belirlenmesi işlemleri mekânın işlevi, güncel moda eğilimleri, kültür, yaş, cinsiyet vb. etkenler doğrultusunda, genelde mimar ve kullanıcı beğenilerine göre yapılmaktadır [**1, 2**].

Bir yüzeyin algılanan (görünen) rengi aydınlatan ışığın renksel özelliklerine bağlı olarak değişim gösterir [**3**]. Bu nedenle bir mekânda duvar rengi seçimi yapılırken kullanılan ışık kaynaklarının ve aydınlatma sisteminin teknik özellikleri önem taşır **[4].** Örneğin, yapay aydınlanmada aygıtların sayısı, konumu, aydınlatma biçimi, lamba ışığının rengi vb. özellikleri değiştikçe mekân yüzeylerinin algılanan renkleri de değişecektir **[5].** Renk ışığın bir özelliği olup farklı renklerdeki ışık kaynakları ile aydınlatılan yüzeyler, görünen renkleri ile mekân kullanıcılarının renksel izlenimlerini ve beğenilerinde ayrımlar yaratabilir **[6].**

Bu bildiride, ışık kaynaklarının iç mekân renk tasarımlarına etkisine ve yaşam odası duvar renkleri için kullanıcı tercihlerinin belirlenmesine ilişkin bir deneysel araştırma aktarılmış ve sonuçları sunulmuştur.

2. ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ VE UYGULANMASI

Bir konutun yaşam odası duvar renklerine yönelik, kullanıcı beğenilerinin saptanması ve değişik renkteki ışık kaynaklarının duvar rengi tercihine etkisini hedefleyen bu çalışmada izlenen yöntemin adımları kısaca,

- Yalnızca yapay ışık kaynaklarının kullanıldığı bir deney hacminin hazırlanması,
- Renksel özellikleri farklı ışık kaynaklarının seçilmesi ve deney hacminde aydınlatma düzenin kurulması,
- Duvar rengine ilişkin örneklerin hazırlanması,
- Renkli örneklerin deneklere gösterilerek kullanıcı tercihlerinin belirlenmesi,
- Kullanıcı yaşam odası duvar rengi tercihlerinin değerlendirilmesi.

olarak özetlenebilir.

2.1. Deney Mekânı

Çalışma İstanbul'da yer alan bir üniversitede deney odası olarak düzenlenen, içinde bir masa ve bir sandalye bulunan bir mekânda (en 3 m, boy 4 m, yükseklik 2.95 m) gerçekleştirilmiştir. Deneklerin seçim yaparken iç yüzey ve donatı renklerinden etkilenmemeleri için deney odasının duvarları orta koyulukta gri renge (N 6/0) boyanmış ve çalışma masası gri renkli (N 5/0) örtü ile örtülmüştür. Hacmin tavanı beyaz (türsüz N 8/0), döşemesi ise yüksek değer (açık), düşük doymuşluktaki sarı renkli (5YR 9/2) seramiktir. Deneyde lamba ışığının renksel niteliklerinin de

karşılaştırması hedeflendiğinden odada bulunan bir pencere, duvar rengine yakın şerit perde (jaluzi) ile kapatılmış ve hacme günışığı alınması engellenmiştir.

Deney hacminde tavana yerleştirilmiş dolaysız aydınlatma yapan aygıtlar bulunmaktadır. Aygıtlarda, çalışmada A ve B olarak adlandırılan iki ayrı ışık kaynağı kullanılmıştır. A kaynağının renk sıcaklığı 4000 K, renksel geriverim indisi (Ra) 80 olan kompakt flüoresan lamba, B kaynağının renk sıcaklığı 2700 K, renksel geriverim indisi (Ra) 100 olan akkor halojen lambadır. A ve B kaynaklarının masa düzlemi üzerinde oluşturduğu ortalama aydınlık düzeyi 450 lx tür.

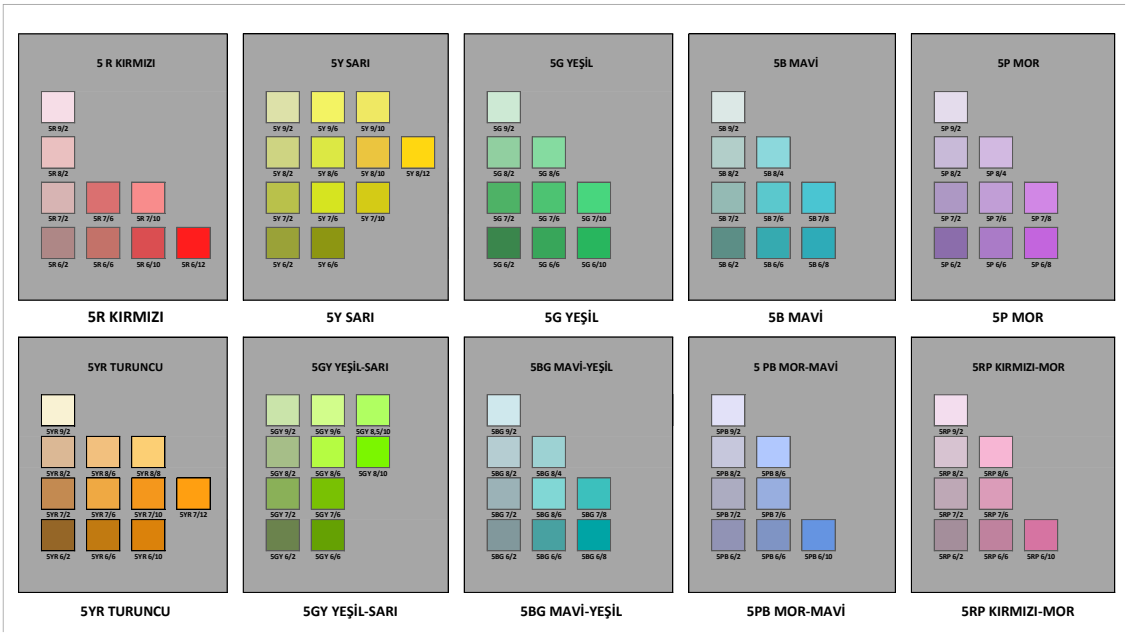
2.2. Deney Renkleri

Deneylerde Munsell Renk Dizgesi' nden yararlanılarak belirlenen on tür (5R, 5Y, 5G, 5B, 5P, 5YR, 5GY, 5BG, 5PB, 5RP), bu türlerin dört değer (6, 7, 8, 9) ve dört doymuşluğu (2, 6, 10, 12) olmak üzere 94 adet renk kullanılmıştır. Munsell Renk Dizgesi simgeleri Çizelge 1'de verilen 94 renk için küçük (3,5 x 3,5 cm) ve büyük (7 x 7 cm) renk örnekleri guaş boya kullanılarak hazırlanmış ve Munsell renk Dizge 'sine uygunlukları tayfsal ışıkölçer (spectrophotometer) ile kontrol edilmiştir. Aynı türdeki küçük örnekler A4 (210 x 297 mm) boyutlarındaki orta koyulukta gri karton üzerine yapıştırılarak on adet renk türü kartelası hazırlanmıştır (Şekil 1). Büyük boyutlu örnekler ise A5 (148 x 210 mm) boyutlu orta koyuluktaki gri kartona (değer: 5) yapıştırılarak 94 adet renk numunesi elde edilmiştir [**7**].

Çizelge 1: Seçilen renklerin Munsell Renk Dizgesi için tür, değer, doymuşlukları.

TÜR	DEĞER/DOYMUŞLUK			
5R (5R) KIRMIZI	9/2			
	8/2			
	7/2	7/6	7/10	
	6/2	6/6	6/10	6/12
5YR (15) TURUNCU	9/2			
	8/2	8/6	8/8	
	7/2	7/6	7/10	7/12
	6/2	6/6	6/10	
5Y (25) YEŞİL	9/2	9/6	9/10	
	8/2	8/6	8/10	8/12
	7/2	7/6	7/10	
	6/2	6/6		
5GY (35) YEŞİL-SARI	9/2	9/6	8,5/10	
	8/2	8/6	8/10	
	7/2	7/6		
	6/2	6/6		
5G (45) YEŞİL	9/2			
	8/2	8/6		
	7/2	7/6	7/10	
	6/2	6/6	6/10	

TÜR	DEĞER/DOYMUŞLUK		
5BG (55) MAVİ-YEŞİL	9/2		
	8/2	8/4	
	7/2	7/6	7/8
	6/2	6/6	6/8
5B (65) MAVİ	9/2		
	8/2	8/4	
	7/2	7/6	7/8
	6/2	6/6	6/8
5PB (75) MOR-MAVİ	9/2		
	8/2	8/6	
	7/2	7/6	
	6/2	6/6	6/10
5P (85) MOR	9/2		
	8/2	8/4	
	7/2	7/6	7/8
	6/2	6/6	6/8
5RP (95) KIRMIZI-MOR	9/2		
	8/2	8/6	
	7/2	7/6	
	6/2	6/6	6/10



Şekil 1: On farklı tür kartelası

2.3. Anketin Uygulanması

Anket çalışmasına 18-75 yaş arası öğrenci ve çeşitli disiplinlerde uzman akademisyenlerden oluşan 20 kadın, 23 erkek olmak üzere toplamda 43 kişi katılmıştır. Renk seçim anketlerine başlamadan önce, deneklere "Ishihara Renk Görme Testi" uygulanarak renk görme durumları kontrol edilmiştir. Kontrol sonucunda deneklerde renk görme bozukluğu olmadığı saptanmıştır.

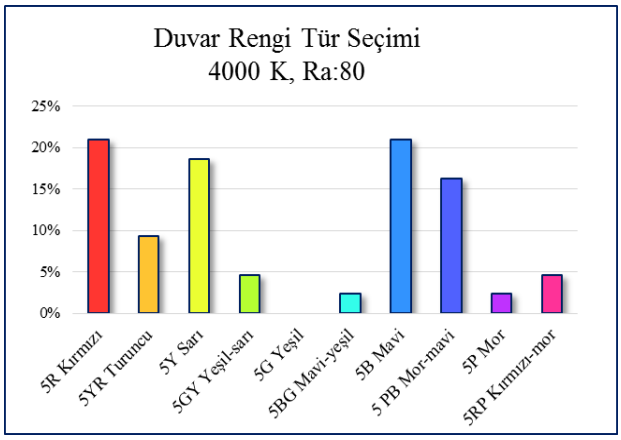
Renk tercihlerinin belirlenmesi çalışmasında, deneklere on türdeki renk kartelaları gösterilmiş, her renk türü kartelasında yer alan renklerden en çok yeğledikleri rengi belirlemeleri ve kendilerine verilen anket kâğıdına işaretlemeleri istenmiştir. Ardından, her tür kartelası için seçtikleri toplam 10 renk, büyük boyutlu örnekler (A5 boyutlu gri karton üzerinde, 7x7 cm boyutlarında) olarak verilmiş ve bunların arasından en çok beğendikleri rengi anket formuna işaretlemeleri istenmiştir. İşlem, A (4000 K, Ra: 80) ve B (2700 K, Ra: 100) ışık kaynakları altında tekrarlanmıştır (Şekil 2).



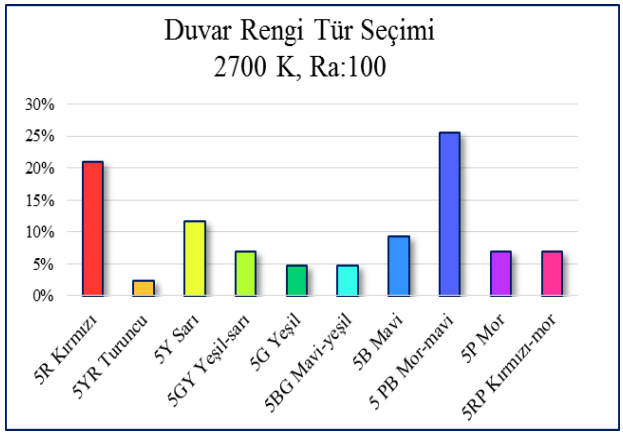
Şekil 2: Deney görseli

3. BULGULAR

Anket çalışmasından elde edilen yanıtlar Şekil 3 ve 4'deki grafiklerde renk türü bağlamında gösterilmiştir. A ışık kaynağı altında yapılan seçimlerde, kullanıcılar kırmızı, sarı turuncu gibi sıcak renk türleri ile mavi, mor-mavi renk türlerinin yüksek değerli ve düşük doymuşluktaki renkleri tercih etmişlerdir (Şekil 3). B ışık kaynağı altında ise kırmızı, sarı ve mavi renk türlerinin yüksek değerli ve düşük doymuşluktaki renkleri yeğlenmiştir (Şekil 4). Işık kaynağı "A" altında yeşil renk türü seçilmemiş yani beğenilmemiştir.



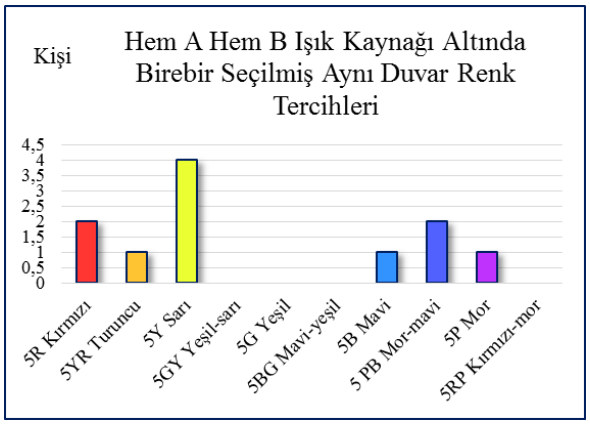
Şekil 3: A ışık kaynağı altındaki tür tercihleri



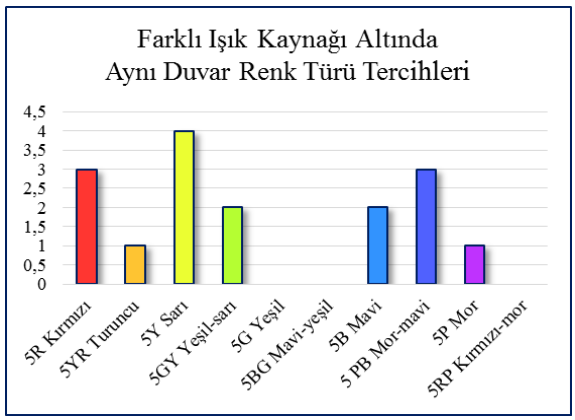
Şekil 4: B ışık kaynağı altındaki tür tercihleri

Deney sonuçlarına göre deneklerin % 11'i tür, değer ve doymuşluk bileşenleri açısından hem A (4000 K, Ra:80) hem de B (2700 K, Ra:100) ışık kaynağı altında aynı renkleri tercih etmişlerdir (Şekil 5). Ancak, % 37'si farklı değer ve doymuşluktaki aynı renk türlerini yeğlemişlerdir (Şekil 6).

Tür açısından aynı olan tercihler incelendiğinde deneklerin % 65'i kırmızı, sarı ve mor-mavi, % 25'i yeşil-sarı ve mavi renk türlerini seçmişlerdir. Her iki ışık kaynağı altında tür, değer ve doymuşluk bileşenleri açısından aynı seçim yapılmış duvar renklerinde ise deneklerin % 36'sında sarı renk türünün orta-yüksek değeri ile düşük doymuşluktaki renkleri ön plana çıkmaktadır. Sarıyı % 18 oranıyla yüksek değerli, düşük doymuşluktaki kırmızı ile orta-yüksek değerli, orta-düşük doymuşluktaki mor-mavi duvar renkleri takip etmektedir. Şekil 5'te renklerin tür açısından hem A hem B ışık kaynağı altındaki tercih oranları, Şekil 6'da ise her iki ışık kaynağı altında (A ve B) tür, değer ve doymuşluk açısından birebir aynı renklerin seçimini gösteren grafikler görülmektedir.

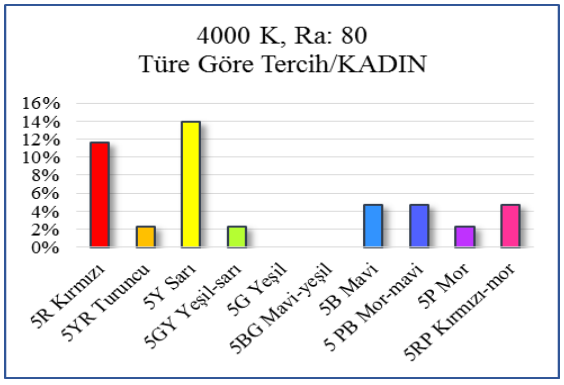


Şekil 5: A ve B kaynağı altında birebir aynı renk tercihleri

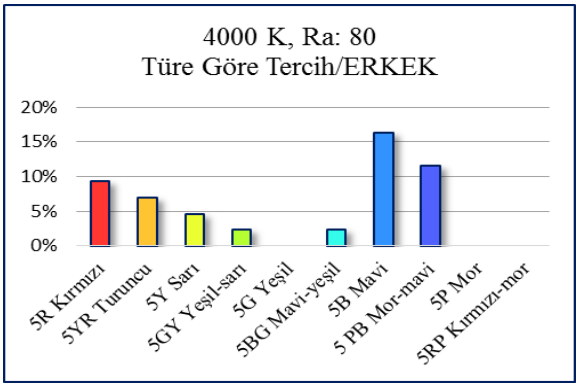


Şekil 6: A ve B kaynağı altında aynı tür tercihleri

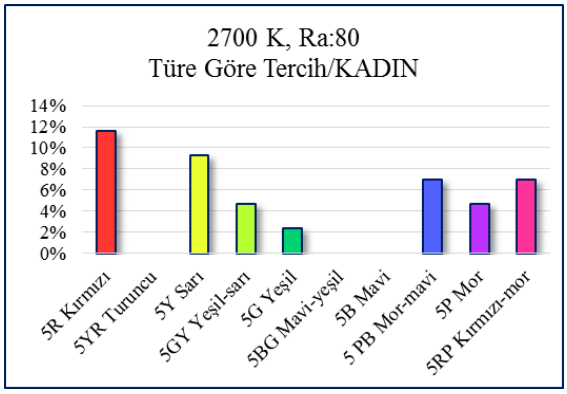
Cinsiyete göre duvar rengi tercihleri farklılık göstermesine karşın her iki cinsiyet de iki farklı ışık kaynağı altında benzer seçimlere yönelmişlerdir (Şekil 7, 8). Kadın denekler, A ve B kaynakları altında da duvar rengi seçimlerinde kırmızı ve sarı türlerin yüksek değer düşük doymuşluktaki ve mavi ile mor-mavinin orta-yüksek değer ve düşük doymuşluktaki renklerini tercih etmişlerdir (Şekil 7). Erkek denekler ise A ışık kaynağı altında kırmızı ve sarı türlerin yüksek değer ve doymuşluklarını, B ışık kaynağı altında ise mor-mavi türdeki duvar renklerini seçmişlerdir (Şekil 8).



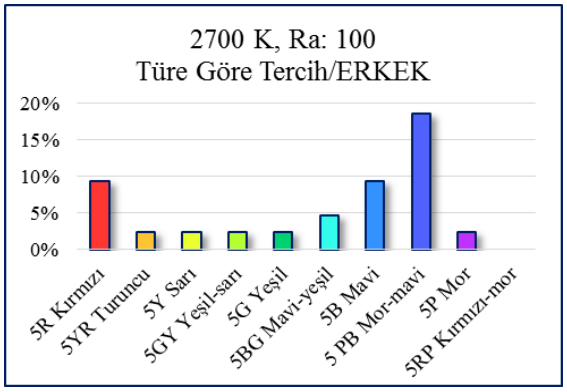
Şekil 7: A kaynağı altında Kadın denek tercihleri



Şekil 8: A kaynağı altında Erkek denek tercihleri



Şekil 9: B kaynağı altında Kadın denek tercihleri



Şekil 10: B kaynağı altında Erkek denek tercihleri

4. SONUÇLAR

On tür ve bu türlerin farklı değer ve doymuşluğundaki toplam 94 renk ile gerçekleştirilen yaşam odası duvar rengi tercih çalışması farklı özellikteki iki ışık kaynağı altında tekrarlanmış ve aşağıda özetlenmiş sonuçlar elde edilmiştir.

- Tercihlerin % 11'i rengin tür, değer ve doymuşluk bileşenleri açısından hem A ışık kaynağı hem de B ışık kaynağı altında aynı sonuçları vermiştir. Aynı seçimlerde sarı başta olmak üzere kırmızı ve mor-mavi türleri en fazla tercih edilen renkler olmuştur.

- Deneklerin % 37'si her iki ışık kaynağı altındaki seçimlerinde aynı türü tercih etmelerine karşın renklerin değer ve doymuşluk bileşenlerinde farklılıklar saptanmıştır.

- Tercihlerin % 52'si A ve B ışık kaynağı altında farklı duvar rengi seçimleri yapmışlardır.

- Yeşil (5G) ve mavi-yeşil (5BG) renkleri yaşam odası duvarları için denekler tarafından hemen hemen hiç tercih edilmemişlerdir. Yeşil-sarı (5GY) ise duvar renk seçimlerinde az tercih edilen renk türü olmuştur.

- Cinsiyet açısında seçim sonuçları, kadın deneklerin, her iki ışık kaynağı altında da duvar rengi seçimlerinde kırmızı ve sarı türlerin yüksek değer düşük doymuşluktaki renkleri ile mavi ve mor-mavinin orta-yüksek değer ve düşük doymuşluktaki renklerini tercih ettiğini göstermektedir. Erkek denekler ise A ışık kaynağı altında kırmızı ve sarı türlerin yüksek değer ve doymuşluktaki, B ışık kaynağı altında ise mor-mavi türdeki duvar renklerini tercih etmişlerdir.

- Renk türü tercihleri ışık kaynağı değişimi ve cinsiyete göre ayrımlar göstermekle birlikte genelde yüksek değerli (açık renkli) ve düşük doymuşluktaki renkler yeğlenmiştir.

Sonuç olarak, konut yaşam odası duvar rengi tercihlerine yönelik olarak yapılan bu araştırmadan elde edilen bulgular, deneklerin ışık kaynağının renksel özelliklerinden etkilendiğini ve cinsiyete göre seçimlerde ayrımlar olduğunu ortaya koymuştur. Bu ve benzeri çalışmalar, çevre-insan etkileşimi açısından daha nesnel verilere ulaşmasına katkı sağlayacaktır.

5. TEŞEKKÜR

Doğuş Üniversitesi'ne, çalışmanın gerçekleşmesi için sağladığı deney mekânı ve teknik hizmet desteği katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. R. Ünver,"Renk ve aydınlatma düzenlerinin ilişkisi", *Sistem Dekor*, Sayı 2, ss. 22-25, Şubat 1991.

2. F. Duyan, "İlköğretim okullarında sınıf duvar renginin öğrencilerin duyuşsal, bilişsel ve davranışsal tepkilerine etkisinin saptanması", Doktora tezi, YTÜ Fen Bilimleri, 2016.

3. R. Ünver, "İç mekan yüzeylerinde renk", *İnşaat Malzemeleri ve Uygulamaları*, Sayı 31, ss. 58-68, Haziran 1990.

4. R. Ünver, "Doğru renk- doğru ışık", *Lightworld Aydınlatma Endüstrisi Dergisi*, Sayı 8, ss 10-15, Portakal Basım, Ekim-Kasım 2007.

5. Y. B. Özbudak, B. Gümüş, F. D. Çetin, "İç Mekân Aydınlatmasında Renk ve Aydınlatma Sistemi İlişkisi" *Emo 2003, II. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu*, İzmir, (2003).

6. F. Duyan, Ş. Yağmur, R. Ünver, "Environmental effects of wall colours in offices and user preferences" *LUX-Europa* 2017, 18-20 September 2017; ISBN 978-961-93733-4-7, pp 10-16.

7. R. Ünver, E. K. Özcan, "Perceived Colours Under Different Light Sources, A Study On Facade Colour", *Light and Engineering*, ISSN: 0236-2945, Znack Publishing House, Vol. 22 No. 2, pp. 90-98, Moskow, June, 2014.

3.Ulusal
Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi

10-11 Mayıs 2018
İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ÇERÇEVESİNDE YERLEŞME DOKULARININ BİNA ENERJİ PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Suzi Dilara Mangan[a]
İAÜ Mimarlık ve Tasarım Fakültesi
Sefaköy, Küçükçekmece, İstanbul, 34295
Prof. Dr. Gül Koçlar Oral[b]
İTÜ Mimarlık Fakültesi
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

ÖZET

Küresel ısınma ve küresel ısınmaya dayalı iklim değişikliği çerçevesinde dünya genelinde dikkate alınan önemli gündem konularından biri, mevcut binaların gelecekteki olası iklim koşullarına uygun olarak üretilmemiş olması ve bu binaların ısıtılması ve soğutulması amacıyla tüketilen enerjinin giderek artmasıdır. Dolayısıyla, gerek gelişmiş gerekse gelişmekte olan ülkelerin enerji tüketimlerinde önemli bir paya sahip olan binaların iklim değişikliğine uygun olarak tasarlanması gerekmektedir. Bu kapsamda, bina enerji performansını uzun vadede etkileyen en önemli parametre olan yerleşme dokularının da iklimsel verilere dayalı olarak geliştirilmesi önem kazanmaktadır. Bu nedenle, bu çalışma ile bina enerji performansı üzerinde olası iklim değişikliği etkilerinin yerleşme ölçeğinde değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç çerçevesinde, yeni yerleşme dokularının hızlı bir şekilde üretildiği İstanbul ili için geliştirilen yerleşme dokusu alternatiflerine dayalı bina enerji performansındaki değişim, mevcut ve gelecek iklim senaryoları dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonuçlarının iklim değişikliğinin etkilerinin önlenmesi ya da en az düzeye indirgenmesi için bina enerji performansına ilişkin geliştirilecek çalışmalara ışık tutması hedeflenmiştir.

Anahtar sözcükler: İklim değişikliği, Yerleşme dokusu, Bina enerji performansı

ABSTRACT

One of the important global problems caused by global warming and climate change due to global warming is the fact that existing buildings were not designed according to possible future climate conditions and energy required for cooling and heating in these buildings gradually increases. Therefore, buildings which are key factors in energy consumptions of both developed and developing countries should be designed according to this impending climate change. Designing settlement patterns which are the most important parameter that affects long term energy performance of buildings based on climate data has become more important. This study aims to evaluate potential impacts of climate change on buildings' energy performance in relation to settlement patterns. For this purpose, changes in building energy performance in settlement pattern alternatives created for Istanbul where new settlement patterns are rapidly developed, are evaluated based on existing and future climate scenarios. Evaluation findings are intended to provide basis for future studies on building energy performance in order to prevent or minimize the impacts of climate change.

Key words: Climate change, Settlement pattern, Building energy performance

[a] e-posta adresi: dilaramangan@yahoo.com
[b] e-posta adresi: kgul@itu.edu.tr

1.GİRİŞ

İklim değişikliğinin, global ölçekte insanların yaşamında, yaşam ve eylemlerini gerçekleştirdikleri binalarda ve binalarda gereksinim duyulan enerji harcamalarında önemli değişimlere neden olacağı açıktır. Dolayısıyla, enerji tüketiminde önemli bir paya sahip olan binaların gelecekte olası iklim değişiklikleri karşısında enerji tüketimlerindeki değişimin analiz edilmesi gerek gelişmiş gerekse gelişmekte olan ülkelerin öncelikli gündem konularından birini oluşturmaktadır.

Bu bağlamda, günümüzde dünya nüfusunun yaklaşık %50'sinin kentsel alanlarda yaşamakta olduğu ve bu oranın 2050 yılına kadar yaklaşık %70 seviyelerine çıkması öngörülmektedir [1]. Öte yandan, kentsel alanlar ile iklim arasındaki ilişki incelendiğinde, kentsel alanların oluşturulmasında dikkate alınan yerleşme dokusu (binalar arasındaki mesafeler ve binaların birbirlerine göre konumları), bina formu, bina kabuğu gibi yerleşme ve bina ölçeğindeki tasarım parametrelerinin kent ikliminin değişimini etkilediği bilinmektedir. Kent iklimi ise yerleşme dokusunda bulunan binaların enerji performansları üzerinde etkili olmaktadır.

Yerleşme dokusu, dokuyu oluşturan binaların aralarında bulunan mesafelere ve birbirlerine göre konumlarına bağlı olarak güneşten ve rüzgardan yararlanma olanakları üzerinde doğrudan etkili olduğundan bina enerji performansları üzerinde de etkili olmaktadır. Bu nedenle, binalarda konfor koşullarının pasif yollarla sağlanabilmesi için yerleşme dokularının güneş ve rüzgar enerjisinden optimum yararlanacak şekilde tasarlanması büyük önem taşımaktadır. Yerleşme dokusunun tanımlanmasında yaygın olarak bina yüksekliklerinin bina aralıklarına oranı (H/W oranı) kullanılmaktadır [2-3]. Dolayısıyla, farklı H/W oranları ile tanımlanan farklı yerleşme dokuları ile bina enerji performansı arasındaki ilişki, mevcut ve gelecek iklim senaryoları dikkate alınarak tasarım aşamasında detaylı analiz edilmelidir.

Öte yandan, Türkiye'nin enerji kaynakları açısından büyük oranda dışa bağımlı bir ülke olması ve Türkiye'nin dünyada iklim değişikliğinden en çok etkilenecek bölgelerden birinde yer almasından dolayı [4] iklim değişikliğinin etkilerinin önlenmesi ya da en az düzeye indirgenmesi zorunludur. Bu nedenle, geleceğe yönelik iklim değişikliği senaryolarının oluşturulması ve bu senaryolara bağlı olarak etki değerlendirilmelerinin yapılması mevcut yerleşmelerde enerji tüketimi ve karbon yoğunluğunun azaltılmasında da büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada, iklim değişikliği çerçevesinde yerleşme dokularının bina enerji performansı üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesine yönelik olarak yeni yerleşme dokularının hızlı bir şekilde üretildiği İstanbul ili için geliştirilen yerleşme dokusu alternatiflerine bağlı olarak bina enerji performansının değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2. YÖNTEM

Bu çalışma da, mevcut ve gelecek iklim senaryoları dikkate alınarak İstanbul ili için geliştirilen yerleşme dokusu alternatiflerinin bina enerji performansı üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesine yönelik bir yaklaşım önerilmektedir. Önerilen bu yaklaşım çerçevesinde izlenilen adımlar aşağıdaki gibidir:

- Yerleşme dokusuna ait tasarım parametrelerinin tanımlanması,
- Referans binaya ait tasarım parametrelerinin tanımlanması,

- Tanımlanan tasarım parametrelerine ilişkin yerleşme dokusu alternatiflerin geliştirilmesi,
- İklim senaryolarının tanımlanması,
- İklim değişikliği çerçevesinde geliştirilen yerleşme dokusu alternatiflerinin bina enerji performansı üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi.

2.1. Yerleşme Dokusuna Ait Tasarım Parametrelerinin Tanımlanması

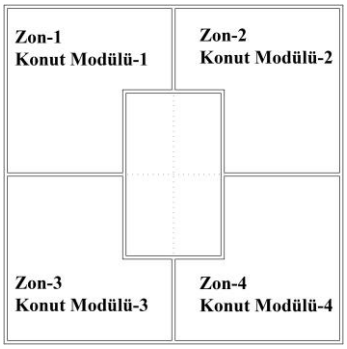
Çalışmada yerleşme dokusunun tanımlanmasında yaygın olarak kullanılan H/W oranı dikkate alınarak farklı yerleşme dokuları geliştirilmiş ve geliştirilen farklı yerleşme dokularının bina enerji performansına etkileri analiz edilmiştir. Bu bağlamda, farklı yerleşme dokularının geliştirilebilmesi amacıyla H/W değerleri, 0.50, 1.00 ve 2.00 olarak alınmıştır. Dikkate alınan farklı H/W değerlerine ilişkin sokak genişliklerinin belirlenebilmesi amacıyla İstanbul ili içerisinde farklı yüksekliklere sahip konut binalarından 5 katlı bir konut binasının değerlendirilmesi öngörülmüştür. Böylelikle, geliştirilen yerleşme dokuları içerisinde binaların farklı yönlendirilme durumlarına bağlı olarak da enerji performanslarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Her bir yerleşme dokusu içerisinde belirlenen referans konut binası için bina enerji performans analizleri yapılmıştır.

2.2. Referans Binaya Ait Tasarım Parametrelerinin Tanımlanması

Referans binaya ait tasarım parametrelerinin tanımlanmasına ilişkin genel kabullere ulaşılabilmesi amacıyla Türkiye'de konut üretiminde etkin rol oynayan TOKİ tarafından inşa edilmiş konut binaları incelenmiştir. Yapılan inceleme sonucunda 100 m^2 taban alanına sahip modüllerin kullanılması öngörülmüştür. Bu bağlamda, 4 adet modülün birleştirilmesi ile oluşturulan kare taban alanlı konut binaları ele alınmıştır. Ele alınan konut binasının A/V oranı (toplam dış yüzey alanı / bina hacmi) 0.2, taban alanı 400 m^2 ve toplam bina yüksekliği ise 15 m'dir. Konut binasına ilişkin bina kabuğu katmanlaşma detaylarının oluşturulabilmesi için mevcut toplu konut uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bina kabuğu kesitleri dikkate alınmıştır. Bu bağlamda, bina kabuğunun opak ve saydam bileşenlerine ilişkin toplam ısı geçirme katsayısı (U, W/m^2K) değerleri TS 825'te İstanbul için belirtilen limit değerlere uygundur (U_D:0.57 W/m^2K, U_t:0.53 W/m^2K, U_T:0.38 W/m^2K, U_p:1.40 W/m^2K). Saydamlık oranı (toplam saydam alan/toplam cephe alanı) değeri ise, tüm cepheler için %30 olarak kabul edilmiştir. Ele alınan konut binasının her katında dört konut modülü yer almakta olup her bir konut modülü ısıtma ve soğutma enerjisi tüketim hesaplamalarında tek bir zon olarak kabul edilmiştir (Şekil 1). İç ortam konfor sıcaklığı ısıtma istenen dönem için 20ºC, soğutma istenen dönem için ise, 26ºC kabul edilmiştir.

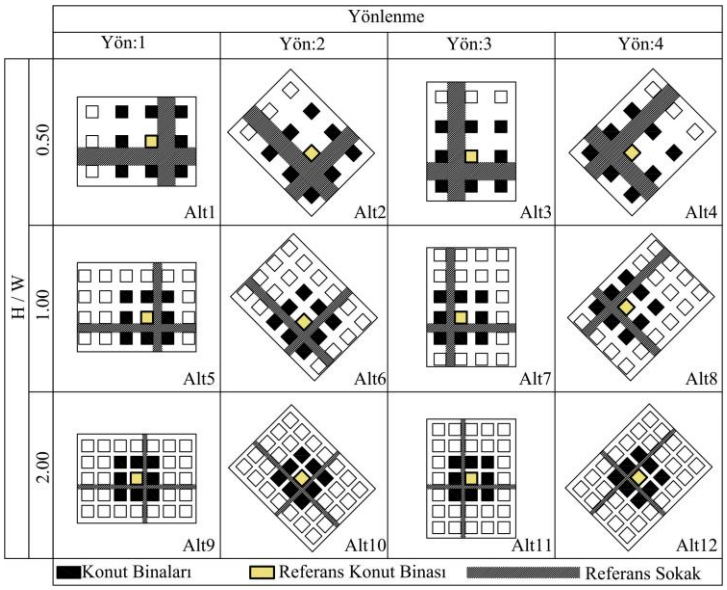
2.3. Tanımlanan Tasarım Parametrelerine İlişkin Yerleşme Dokusu Alternatiflerin Geliştirilmesi

Tanımlanan tasarım parametrelerine ilişkin yerleşme dokusu alternatiflerin geliştirilmesi kapsamında farklı H/W değerlerine bağlı olarak oluşturulan dokular çerçevesinde referans konut binasının enerji performansının değerlendirilmesi amacıyla yaklaşık 30.000m^2'lik bir çalışma alanı içerisinde minimum 9 (3x3) konut binasının yerleştirilmesine çalışılmıştır. Oluşturulan yerleşme dokuları içerisinde yer alan bina sayısı, alternatiflerin H/W oranlarına dayalı olarak değişkenlik göstermektedir. Yerleşme dokularının yönlendirilişi, her bir yerleşme dokusu



Şekil 1: Referans konut binasına ilişkin normal kat planı

içerisinde belirlenen referans konut binası ve referans konut binasının bulunduğu noktada kesişen referans sokaklara bağlı olarak 45º'lik açılarla değişmektedir (Şekil 2).



Şekil 2: Geliştirilen yerleşme dokusu alternatifleri

2.4. İklim Senaryolarının Tanımlanması

Binaların enerji performans analizleri kapsamında kullanılan iklim verileri, genellikle küresel iklim modelleri esas alınarak hazırlanan saatlik iklim verilerinden oluşmakta olup mevcut dış hava koşullarına dayanmaktadır.

Öte yandan, bina ömrü süresince iklim verilerinde değişim yaşanmaktadır. Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), çeşitli gruplar tarafından gerçekleştirilmiş küresel iklim modeli (GCM) ve gözlemlere dayalı küresel ısınma tahminlerini oluşturmaktadır. Dolayısıyla, binaların enerji performanslarının değerlendirilmesinde sadece mevcut iklim koşullarının dikkate alınması değil, binaların gelecek iklim koşullarına adapte olmasını sağlayacak düzeyde tutarlı olması ve olası gelecek iklim koşullarına ilişkin sistematik tanım ve varsayımları içermesi gerekmektedir.

Bu bağlamda, IPCC Üçüncü Değerlendirme Raporu (TAR) ve Dördüncü Değerlendirme Raporunda (AR4) belirtildiği üzere, gelecekteki olası karbon salımı ile birlikte nüfus artışı, enerji tüketimi, ekonomik gelişmeler gibi pek çok değişkenin dikkate alınması ile 40 senaryo geliştirilmiş olup A1, A2, B1 ve B2 olmak üzere dört temel senaryo grubu oluşturulmuştur.

A1 senaryo grubu, enerji sistemindeki teknolojik değişimin alternatif yönlerini tanımlamakta olup teknolojik gelişime ve değişime dayalı olarak üç alt senaryoya ayrışmaktadır. Bu senaryolar kapsamında; *A1F1* fosil yakıtların yüksek oranda kullanıldığı, *A1T* fosil olmayan enerji kaynaklarının kullanıldığı ve *A1B* ise tüm kaynakların dengeli olarak kullanıldığı senaryolardır.

A2 senaryo grubu ile homojen olmayan yerel özelliklere dayalı olarak değişkenlik gösteren kabuller tanımlanmaktadır.

B1 senaryo grubu, A1 senaryo grubunda tanımlandığı gibi nüfus artışının yüzyılın ortalarına kadar arttığı ve daha sonra azaldığı, ekonomik yapılardaki hızlı değişimleri, temiz ve kaynak etkin teknolojilerin kullanımı ile ekonomik, sosyal ve çevresel sürdürülebilirliğin sağlanabildiği küresel çözümlere vurgu yapmaktadır.

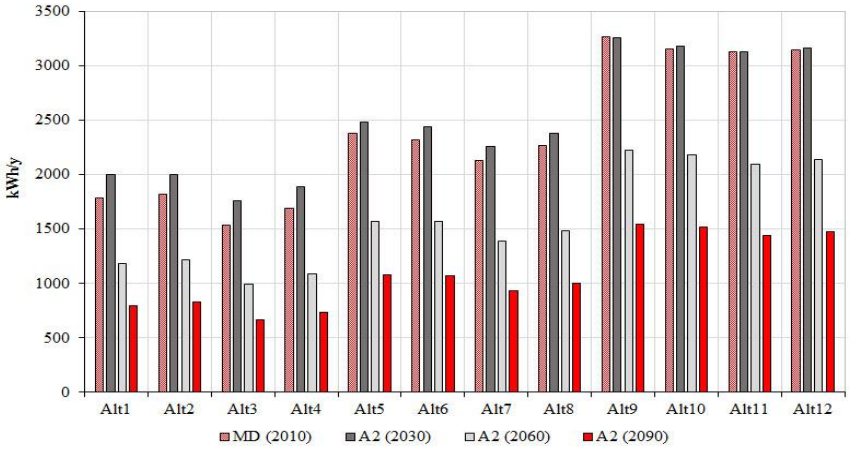
B2 senaryosu ise, ekonomik, sosyal ve çevresel sürdürülebilirlik açısından yerel çözümlerin öncelikli olarak dikkate alındığı bir senaryo grubudur [5].

Bu çalışma kapsamında ise, nüfus artışı, bölgesel bazlı ekonomik kalkınma gibi konulara vurgu yaparak günümüz koşullarına benzer bir yapı çizmekte olan ve çalışmalarda en çok kullanılan A2 senaryosu dikkate alınmıştır. Çalışma kapsamında ılımlı-nemli iklim bölgesinin temsili ili İstanbul için mevcut durumunun değerlendirildiği senaryo çerçevesinde 2010 yılı iklim verileri ve IPCC tarafından öngörülen A2 senaryosu çerçevesinde ise 2030, 2060 ve 2090 yılları için ayrı ayrı gelecek iklim verileri Meteonorm 7.0 programı aracılığıyla EPW (Energy Plus Weather File) formatında hazırlanmıştır [6].

2.5. İklim Değişikliği Çerçevesinde Geliştirilen Yerleşme Dokusu Alternatiflerinin Bina Enerji Performansı Üzerindeki Etkilerinin Değerlendirilmesi

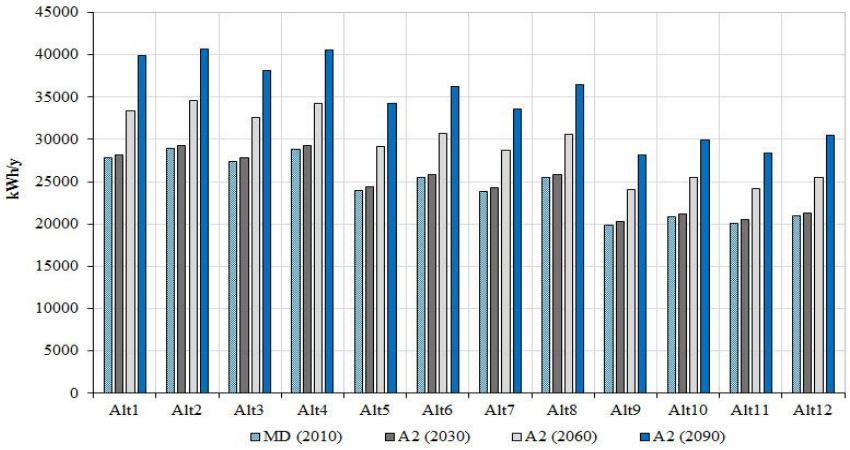
İklim değişikliği çerçevesinde geliştirilen yerleşme dokusu alternatiflerinin bina enerji performansı üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi kapsamında belirlenen iklim senaryoları (mevcut durum ve A2 senaryoları) esas alınarak EnergyPlus dinamik termal simülasyon motorunun kapsamlı arayüzü DesignBuilder simülasyon programı [7] kullanılmıştır. Ilımlı-nemli iklim bölgesi temsili ili İstanbul için geliştirilen yerleşme dokuları alternatifleri içerisinde belirlenen referans konut binasına ilişkin mevcut ve gelecek iklim senaryoları dikkate alınarak hesaplanmış yıllık ısıtma, soğutma amaçlı enerji tüketimleri ile birlikte toplam enerji tüketimleri (ısıtma + soğutma) Şekiller 3, 4, 5'te verilmiştir.

Şekil 3'te görüldüğü üzere, referans konut binası için ısıtma amaçlı enerji tüketimleri irdelendiğinde, 2010 yılı iklim verileri dikkate alınarak değerlendirilen mevcut durum senaryosu çerçevesinde en düşük ısıtma amaçlı enerji tüketiminin H/W:0,50 ve 3. yönlendiriliş durumunda



Şekil 3: Referans konut binası için hesaplanmış ısıtma amaçlı enerji tüketimleri

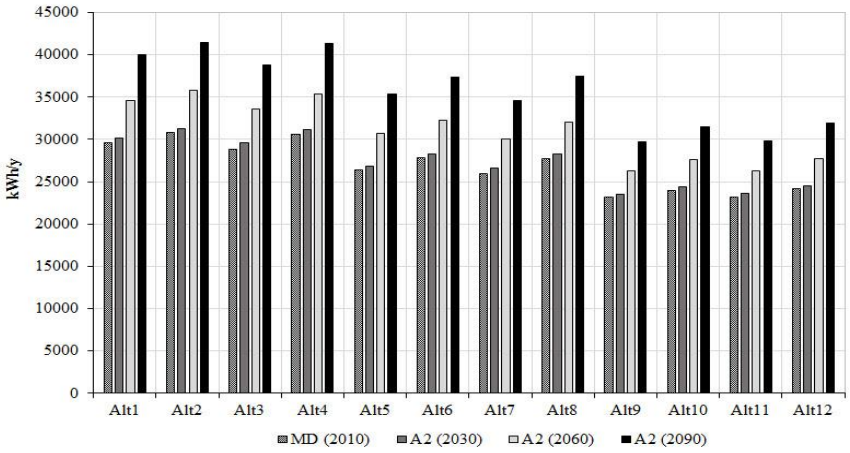
(yön3) olan Alt3 (1,533 kWh/y) ile elde edildiği, en yüksek ısıtma amaçlı enerji tüketiminin ise H/W:2.00 ve 1. yönlendiriliş durumunda (yön1) olan Alt9 (3,268 kWh/y) ile gerçekleştiği görülmektedir. IPCC tarafından öngörülen A2 senaryosuna yönelik oluşturulan gelecek iklim senaryoları kapsamında ise, 2030, 2060 ve 2090 yılları için en düşük ısıtma amaçlı enerji tüketimi Alt3 ile elde edilmiş olup mevcut durum senaryosu ile karşılaştırıldığında ısıtma amaçlı enerji tüketiminin 2030 yılında %15 oranında arttığı, 2060 ve 2090 yılları için ise sırasıyla %35 ve %57 oranında azaldığı tespit edilmiştir. A2 senaryosuna yönelik oluşturulan gelecek iklim senaryoları kapsamında, en yüksek ısıtma amaçlı enerji tüketimi Alt9 ile elde edilmiş olup mevcut durum senaryosu ile karşılaştırıldığında ısıtma amaçlı enerji tüketiminin 2030 yılında önemli oranda değişmediği, 2060 ve 2090 yılları için ise sırasıyla %32 ve %53 oranında azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 4: Referans konut binası için hesaplanmış soğutma amaçlı enerji tüketimleri

Soğutma amaçlı enerji tüketimi kapsamında elde edilen sonuçlar incelendiğinde, mevcut durum senaryosu için en düşük soğutma enerjisi tüketiminin H/W:2.00 ve 1. yönlendiriliş durumunda (yön1) olan Alt9 (19,873 kWh/y) ile sağlandığı, en yüksek soğutma amaçlı enerji tüketiminin ise H/W:0,50 ve 2. yönlendiriliş durumunda (yön2) olan Alt2 (28,993 kWh/y) ile gerçekleştiği görülmektedir. A2 senaryosuna yönelik oluşturulan gelecek iklim senaryoları kapsamında ise, 2030, 2060 ve 2090 yılları için en düşük soğutma amaçlı enerji tüketimi Alt9 ile elde edilmiş

olup mevcut durum senaryosu ile karşılaştırıldığında soğutma amaçlı enerji tüketiminin 2030, 2060 ve 2090 yılları için sırasıyla %2, %21, %41 oranında arttığı belirlenmiştir. A2 senaryosuna yönelik oluşturulan gelecek iklim senaryoları kapsamında, en yüksek soğutma amaçlı enerji tüketimi, mevcut durum senaryosu kapsamında belirlenen Alt2 alternatifi olup mevcut durum senaryosu ile karşılaştırıldığında soğutma amaçlı enerji tüketiminin 2030, 2060 ve 2090 yılları için sırasıyla %1, %19 ve %40 oranında arttığı tespit edilmiştir (Şekil 4).



Şekil 5: Referans konut binası için hesaplanmış toplam (ısıtma + soğutma) enerji tüketimleri

Toplam (ısıtma + soğutma) enerji tüketimi kapsamında elde edilen sonuçlar incelendiğinde, mevcut durum senaryosu için en düşük toplam enerji tüketiminin H/W:2.00 ve 1. yönlendiriliş durumunda (yön1) olan Alt9 (23,140 kWh/y) ile sağlandığı, en yüksek toplam enerji tüketiminin ise H/W:0,50 ve 2. yönlendiriliş durumunda (yön2) olan Alt2 (30,815 kWh/y) ile gerçekleştiği görülmektedir. A2 senaryosuna yönelik oluşturulan gelecek iklim senaryoları kapsamında ise, 2030, 2060 ve 2090 yılları için en düşük toplam enerji tüketimi Alt9 ile elde edilmiş olup mevcut durum senaryosu ile karşılaştırıldığında toplam enerji tüketiminin 2030, 2060 ve 2090 yılları için sırasıyla %2, %16, %35 oranında arttığı belirlenmiştir. A2 senaryosuna yönelik oluşturulan gelecek iklim senaryoları kapsamında, en yüksek toplam enerji tüketimi, mevcut durum senaryosu kapsamında belirlenen Alt2 alternatifi olup mevcut durum senaryosu ile karşılaştırıldığında toplam enerji tüketiminin 2030, 2060 ve 2090 yılları için sırasıyla %2, %14 ve %29 oranında arttığı tespit edilmiştir (Şekil 5).

3. SONUÇLAR

Küresel olarak iklim değişikliği senaryolarına dayalı sıcaklık değerlerinde öngörülen artış çerçevesinde farklı yerleşme dokusu alternatifleri içerisinde yer alan binaların enerji performanslarında önemli değişimlerin yaşanacağı açıktır. Bu bağlamda, Türkiye için de farklı yerleşme dokularının bina enerji performansı üzerindeki etkilerinin iklim değişikliği çerçevesinde değerlendirilmesi önem kazanmaktadır.

Dolayısıyla, bu çalışma kapsamında geliştirilen farklı yerleşim dokusu alternatifleri içerisinde yer alan referans konut binasının ısıtma ve soğutma amaçlı enerji tüketimlerinin 2010, 2030, 2060 ve 2090 yılları içerisindeki değişimi iklim değişikliğinin etkileri dikkate alınarak irdelenmektedir. Türkiye'nin ılımlı nemli iklim bölgesi temsili ili İstanbul için gelecek iklim senaryoları dikkate

alınarak farklı yerleşme dokuları içerisinde belirlenen referans konut binasına ilişkin enerji performans analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları göstermektedir ki, Türkiye kapsamında 2030'lu yılların sonuna kadar sıcaklık artışının sınırlı düzeyde olacağı, ancak sonraki yıllarda, özellikle 2060 ve 2090 yılları için gerçekleştirilen analiz sonuçları irdelendiğinde, sıcaklık artışının çok hızlı bir şekilde yükseleceği tespit edilmiştir. Dolayısıyla, çalışmada ele alınan İstanbul ili için bina enerji performansı açısından yıllık soğutma amaçlı enerji tüketiminin artması, ısıtma amaçlı enerji tüketiminin ise azalması yönünde önemli bir değişim gözlenmiştir. Gelecek yıllarda özelikle toplam enerji tüketimleri üzerinde soğutma amaçlı enerji tüketimlerinin daha etkili olacağı görülmüştür. Bu bağlamda, analiz sonuçları değerlendirildiğinde en önemli değişim oranı, A2 senaryosu kapsamında 2090 yılı için gerçekleştirilen enerji performans analiz sonuçlarında görülmekte olup ısıtma amaçlı enerji tüketimlerinde %57'lik azalma H/W:0,50 ve 3. yönlendiriliş durumunda (yön3) olan Alt3 alternatifi ile elde edilirken, soğutma amaçlı ve toplam enerji tüketimlerinde ise sırasıyla %42 ve %35'lik azalma H/W:2.00 ve 1. yönlendiriliş durumunda (yön1) olan Alt9 alternatifi ile sağlanmıştır.

Bu çalışmada elde edilen bulgular ile Türkiye'de yaygın olarak kullanılan referans konut binasının enerji performansı üzerinde farklı yerleşme dokularının etki düzeylerinin gelecek iklim senaryoları çerçevesinde gösterebileceği değişim için bir öngörü oluşturulabilmektedir. Ancak, kabul edilebilir genel sonuçlara ulaşılabilmesi için sınırlı sayıda gerçekleştirilen bu analizlerin çok sayıda tekrarlanması gerekmektedir. Özellikle, ülkemiz genelinde kentsel dönüşüm projelerinin hızla devam ettiği bu süreçte yeni yerleşmelerin iklim değişikliği senaryoları göz önünde bulundurularak tasarlanması, ülke kaynaklarının verimli kullanımı ve karar vericiler için maksimum faydanın sağlanması açısından önemlidir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP) tarafından Bilimsel Araştırma ve Geliştirme Destekleme Programı kapsamında desteklenmektedir (Proje No: 39956).

KAYNAKLAR

1. UN. World Urbanization Prospects: The 2007 Revision Population Database, [http://www.un.org/esa/population /publications/wup2007/2007WUP_Highlights_web.pdf], Erişim Tarihi: 14.01.2018.

2. F. A. Toudert and M. Helmut, Effects of asymmetry, galleries, overhanging façades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. *Solar Energy*, vol. 81 (6) (2006), 742-754.

3. E. Andreou, Thermal comfort in outdoor spaces and urban canyon microclimate. *Renewable Energy*, 55 (2013), 182-188.

4. WWF-Türkiye. Küresel İklim Değişikliği ve Türkiye, [http://www.wwf.org.tr/ne_yapiyoruz/iklim_degisikligi_ ve_enerji/iklim_degisikligi/kuresel_iklim_degisikligi_ve_turkiye/], Erişim Tarihi: 14.01.2018.

5. IPCC. Emissions scenarios, [http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/index.php?idp=3], Erişim Tarihi: 14.01.2018.

6. Meteonorm Software. Meteonorm version 7.1.0 Handbook, (2013).

7. DesignBuilder Software. *DesignBuilder 3.0.0.105 User Manual.* UK: DesignBuilder Software Ltd, (2013).

3.Ulusal
Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi

10-11 Mayıs 2018
İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul

ALÜMİNYUM CEPHE DETAYINDA BİSCO, FRAME VE SWFLOW YAZILIMLARI KULLANILARAK ISIL PERFORMANSIN KARŞILAŞTIRILMASI

Dr. Asgar Akbarov[a]
İTÜ İnsaat Fakültesi, Maslak, İstanbul, 34469
Y. Mimar Ahmet Biler[b]
İTÜ Mimarlık Fakültesi, Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437
University of Nottingham Architecture and Built Env., NG72QQ UK

ÖZET

Cephe termal performansının belirlenmesinde alüminyum çerçevelerin ısıl performansı oldukça önemlidir. Çerçeveler ısı geçirgenliği açısından en kritik bölgelerdir. Isı köprü riskinin oluşma olasılığı çerçeve bölgelerinde en yüksek düzeydedir. Alüminyum çerçeveler alüminyum ve vizyon bölgelerden oluşmaktadır. Alüminyum profiller ısı performansının iyileştirilmesi amacı ile poliamid türü malzeme kullanılarak bölünmüştür. Hesaplarda kullanılan cephe detayı hiçbir projede kullanılmamış hayali bir detaydır. Cephe detayında ayrıca EPDM ve silikon fitiller ve sıvılaştırılmış silikon malzemeler de kullanılmıştır. Alüminyum detayda kullanılan cam kombinasyonu Ug=1.0W/m²K ısı geçirgenlik değerine sahiptir. Böylece belirtilen detayın Bisco, Frame Simulator 2D ve Solidworks Flow Simulation CFD aracı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile yoğuşma analizi incelenmeştir. Sınır şartları EN10077-2 (Thermal Performance of Frames) normu kullanılarak belirlenmiştir. Buna ek olarak hem profil hem de cam üzerinde yoğuşma oluşma riski İstanbul-Türkiye hava sıcaklığı koşulları göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Dış ortam sıcaklığı, bağıl nem ve rüzgâr hızı verileri ASHRAE 90.1 (American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers) kullanılarak elde edilmiştir. Bu çalışmanın hedefi aynı yaklaşımla farklı yazılımlardan elde edilen sonuçları karşılaştırmak ve bu sonuçları CFD yardımıyla doğrulamaktır.

Anahtar sözcükler: Alüminyum cephe, Yoğuşma, Bisco, Frame simulator, CFD, Isıl performans

ABSTRACT

Thermal performance of the frames is quite significant for determination of façade thermal performance. Frames are the most critical areas in terms of thermal transmittance. The probability of thermal bridge risk is highest in the frame zones. Frame is composed of aluminum profile and glazing. Aluminum profile has broken with polyamide in order to improve thermal performance. Specified frame detail is a fictive detail which has never applied in any project. There are also EPDM and silicone gaskets and liquefied silicone inside of frame. Glazing combination adjacent to frame has 1.0 W/m2K thermal transmittance rate. Therefore, condensation analysis of a specific detail is analyzed in this paper through Bisco, Frame Simulator 2D steady state heat transfer software and Finite Element methods by using Solidworks Flow Simulation CFD tool. Boundary conditions specified in EN 10077-2 (Thermal Performance of Frames) is taken into consideration in this paper. Besides, condensation formation risk on both profile surface and glass surface are also determined by considering İstanbul, Turkey conditions. Design temperature, relative humidity and wind velocity data are obtained from American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) 90.1. Objective of this study is comparing different softwares with same approaches and verification of the results by CFD.

Key words: Aluminium façade, Condensation, Bisco, Frame simulator, CFD, Thermal performance

[a] e-posta adresi: akperov75@yahoo.com
[b] e-posta adresi: biler@itu.edu.tr

1. GİRİŞ

Bina kabuğu iç ortam ve dış ortamı ayıran yapı elemanıdır. Bina kabuğu tasarımında kullanılan malzemeler ve malzemelerin geometrisi iç ortamdan dış otama doğru oluşacak ısı geçişini dolayısıyla da bina enerji verimliliğini doğrudan etkilemektedir.

"BISCO" ve "FRAME Simulator" yazılımları giydirme cephe detaylarında ısı transferi analizi için yaygın olarak kullanılan yapı fiziği yazılımlarıdır. Bu yazılımlar, ısı transferi açısından yüksek performanslı giydirme cephe tasarlamaya yardımcı olur. Ancak, bu amaca ulaşmak için çerçeve U değerini doğru saptamak oldukça önemlidir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Mevcut birçok çalışma, "Isı köprüleri" ve bir binanın toplam enerjisi dikkate alınarak yalıtım performansını incelemiştir.

Jung-Min Oh e d.[1] çalışmalarında, "Physibel TRISCO" yazılımı kullanarak oluşturdukları alternatif metal panel giydirme cephe detayı üzerinde "ısı köprü" yollarını minimize ederek var olan detayla karşılaştırma yapmış ve elde edilen enerji tasarrufu potansiyelini analiz etmeyi amaçlamışlardır.

Min Jung Bae ve d. [2] çalışmalarında, "Physibel TRISCO" yazılımı kullanarak çerçeve oranlarının giydirme cephe sisteminin termal geçirgenliği üzerindeki etkisini değerlendirmişler.

Jiwoo Nam ve d.[3] yangın durumlarında giydirme cephelerde yangın önleme fıskiyelerinin (sprinkler) cam kırılmasını daha efektif engelleme yöntemlerini "hesaplamalı akışkanlar dinamiği" bazlı yazılım kullanarak ve sonuçları deneysel değerlerle karşılaştırarak incelemişler.

Jin-Hee Song ve d.[4] "Physibel TRISCO" kullanarak yaptıkları çalışmalarında alternatif metal bazlı panel detayların yalıtım performanslarını değerlendirmek için üç boyutlu ısı transferi simülasyonları ve mock-up testleri yaparak var olan detayla karşılaştırmışlardır.

3. ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ

Bu makalede yoğuşma analizi için "BISCO" ve "Frame Simulator" iki boyutlu zamandan bağımsız (2D Steady State) ısı transfer yazılımları kullanılarak elde edilen sonuçlar; hem birbiri ile hem de hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) temeline dayanan üç boyutlu Solidworks Flow Simulation CFD yazılımı kullanılarak elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Analizlerde programların temel aldığı standard, EN ISO 10077-2 "Thermal Performance of Windows, Doors and Shutters—Calculation of Thermal Transmittance—Numerical Methods for Frames" standardıdır. Bu standard Avrupa'da cephe detaylarının yoğuşma performanslarının ve U değerlerinin bulunmasında en çok kullanılan standarttır.

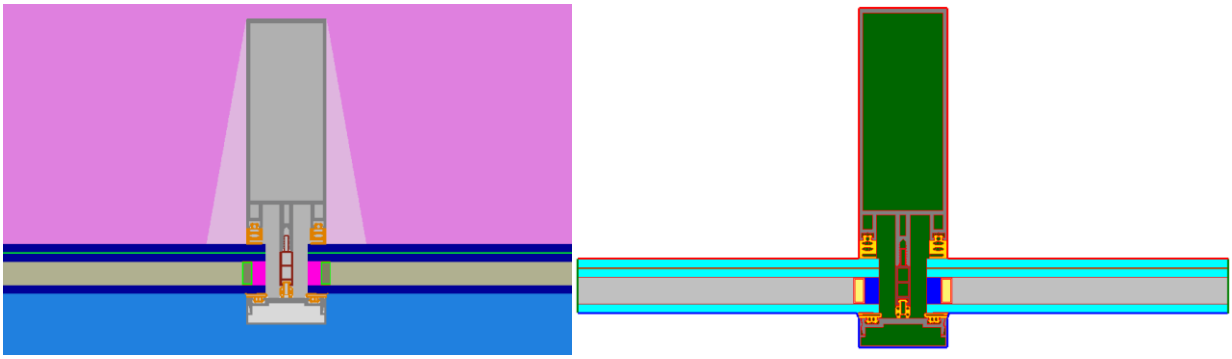
3.1. Yazılımlar ile ilgili Bilgi

“BISCO” ve “Frame Simulator” EN 10077-2 standardını referans alarak cephe çerçevelerinin ısıl performansını hesaplamaya yarayan 2D, zamandan bağımsız (Steady State) ısı transfer analizi programlarıdır. Analiz için iç ortam ve dış ortam sıcaklıkları, yüzey dirençleri ve malzemelerin ısıl iletkenlik değerleri yazılımda tanıtılmalıdır. Yazılımlar çıktı olarak eş sıcaklık eğrileri ve tanımlanan bölgedeki U değerini vermektedir. Tanımlanan eş sıcaklık eğrileri yoğuşma risk analizinde doğrudan kullanılmaktadır. Ayrıca, yazılımlar ısı akış eğrileri (heat flux), malzeme yüzeylerindeki minimum sıcaklık, maksimum sıcaklık değerlerini vermekte; otomatik olarak rapor oluşturabilmektedir.

Solidworks Flow Simulation ise hem akış hem de ısı transfer analizlerini yapabilen bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) programıdır. Analiz sonuçlarının doğruluğundan emin olmak için başlangıç koşulları, sınır koşulları doğru tanımlanmalı ve mesh optimizasyonu dikkatli bir şekilde yapılmalıdır.

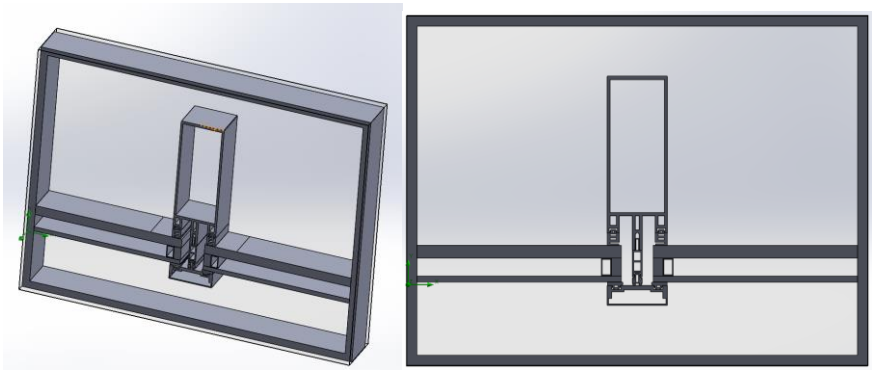
3.2. Örnek Detay Tanıtımı

Örnek detay kurgusaldır ve yalnız bu çalışmanın konusudur. Detay kalıp çekimi alüminyum profil ve yüksek performanslı ısı cam ünitesinden oluşmaktadır. Alüminyum profil %25 cam elyafı içeren poliamid malzeme kullanılarak bölünmüştür ve genişliği 60mm-dir. Isıcam 6mm dış cam, 18mm, %90 argon doldurulmuş hava boşluğu ve 66.2mm lamine iç camdan oluşmaktadır. Analiz detayında kullanılan cam panellerin genişliği EN 10077-2 uyarınca 190mm-e eşit alınmıştır. Ayrıca camlar arasında “warm edge” olarak tanımlanan düşük ısı geçirgenlik katsayısına sahip plastik çıta (warm-edge spacer) kullanılmıştır. Camlar kenarlarından yapıştırıcı silikonla birbirine bağlanmıştır. Alüminyum profil ve cam ünitesi temas yerlerinde EPDM fitiller konulmuştur.

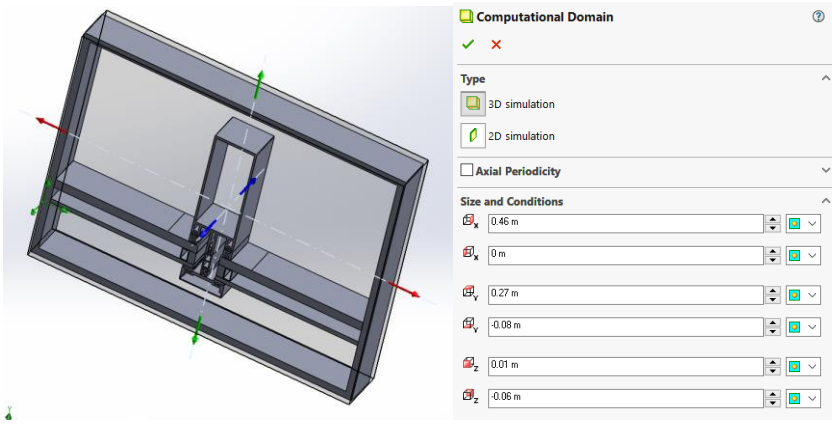


Şekil 1: “BISCO” ve Frame Simulator yazılımından elde edilen detay görünüşü

Toplam mesh sayısını düşürebilmek amacıyla 50 mm derinliğinde bir model oluşturulmuştur. Computational Domain akışkanlar dinamiği ve ısı transferi hesaplarının yapıldığı bölgeye tanımlamaktadır. Bu analiz için oluşuturulmuş Computational Domain ise Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 2: "Solidworks Flow Simulation" CFD Modeli



Şekil 3: Computational Domain

3.3. Sınır Koşulları

Hesaplarda aşağıdaki sınır koşulları kullanılmaktadır. İç Ortam sıcaklığı TS 825'ten dış ortam sıcaklığı ASHRAE 90.1'den alınmıştır. Diğer sınır şartlar EN 10077-2'de tanımlanmıştır.

- Dış ortam sıcaklığı: -3^0C [5]
- İç ortam sıcaklığı: $+20^0$C [6]
- Bağıl nem: %50
- Panel genişlikleri 190mm [7]

Yoğuşma analizinde kullanılan başlangıç ve sınır koşulları Çizelge 2'de verilmiştir.

3.3.1. CFD Analizinde Kullanılan Sınır Koşulu Yaklaşımları

Üstte tanımlanan sınır şartlar aşağıda belirtilen yöntemlerle CFD modeline uygulanmıştır.

3.3.1.1. Başlangıç Hızları

EN 10077-2 standardında tanımlanan profil yüzeyi dirençleri Çizelge 3'te gösterilmektedir.

Çizelge 1: ASHRAE 90.1- American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers Standardı Uluslararası İklimsel Data [5]

TABLE D-3 International Climatic Data *(continued)*

Country City	Province or Region	Latitude	Longitude	Elev., m	HDD18	CDD10	Heating Design Temperature 99.6%	Cooling Design Temperature Dry-Bulb 1.0%	Cooling Design Temperature Wet-Bulb 1.0%
(Taiwan cont.)									
Tung Shih		23.27 N	119.67 E	45	106	5120	N.A.	N.A.	N.A.
Wu-Chi		24.25 N	120.52 E	5	225	4828	10	32	27
Yilan		24.77 N	121.75 E	7	229	4676	N.A.	N.A.	N.A.
Tanzania									
Dar es Salaam		6.88 S	39.20 E	55	2	5975	N.A.	N.A.	N.A.
Thailand									
Bangkok		13.73 N	100.57 E	16	0	6906	18	36	26
Tunisia									
Tunis/El Aouina		36.83 N	10.23 E	5	921	3205	5	34	23
Turkey									
Adana		37.00 N	35.42 E	66	1026	3388	0	34	22
Ankara/Etimesgut		39.95 N	32.68 E	806	2868	1709	–17	30	17
Istanbul/Yesilkoy		40.97 N	28.82 E	37	1963	2098	–3	29	21
United Kingdom									
Birmingham	England	52.45 N	1.73 W	99	3259	753	–6	24	17
Edinburgh	Scotland	55.95 N	3.35 W	41	3526	556	–6	21	16
Glasgow Apt	Scotland	55.87 N	4.43 W	7	3493	578	–6	22	16
London/Heathrow	England	51.48 N	0.45 W	24	2786	1052	–4	26	18
Uruguay									
Montevideo/Carrasco		34.83 S	56.03 W	33	1180	2557	2	30	22
Venezuela									
Caracas/Maiquetia		10.60 N	66.98 W	72	5	6389	21	33	28
Vietnam									
Hanoi/Gialam		21.02 N	105.80 E	8	183	5482	N.A.	N.A.	N.A.
Saigon (Ho Chi Minh)		10.82 N	106.67 E	19	0	6698	20	34	25

Çizelge 2: Yoğuşma Analizi Sınır Koşulları

Boundary list

	ID	Name	Col.	Air T [°C]	Boundary T [°C]	R type	R [m^2K/W]	H [%]	Flow rate [W/m^2]
1	0	Internal		20.000	-	Constant	0.1300	50.0	0.000
2	1	Internal increased resistance		20.000	-	Constant	0.2000	50.0	0.000
3	2	External		-3.000	-	Constant	0.0400	65.0	0.000
4	4	Adiabatic		-	0.000	Constant	-	65.0	0.000

Buna göre;
h_{in}= 7.7 W/m^2K
$h_{in,\ (azaltılmış)}$ = 5.0 W/m^2K
h_{out}= 25 W/m^2K olmaktadır.

ISO 15099-2003 h_{cv} değerini hızın bağıntısı olarak aşağıdaki gibi tanımlamaktadır. [8,9]

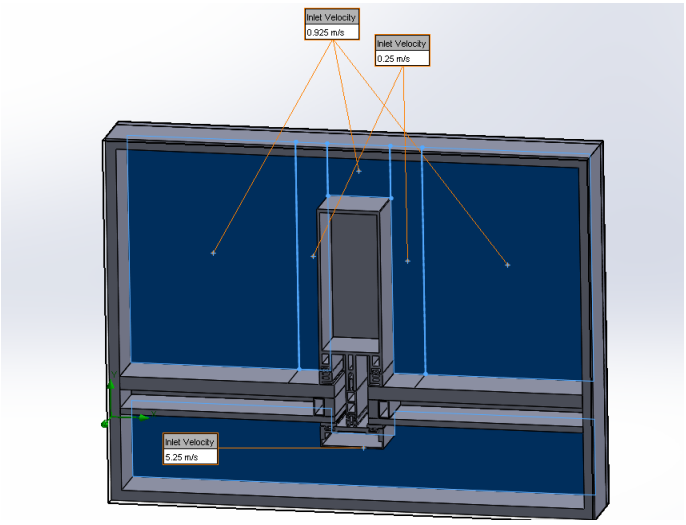
$h_{cv} = 4 + 4V_s$

Yüzey ile temas ederek yükselen havanın hız değerleri aşağıdaki gibi olmaktadır. (Şekil 4)
V_{in}= 0.925 m/s
$V_{in,\ (azaltılmış)}$ = 0.250 m/s
V_{out}= 5.25 m/s olmaktadır.

Çizelge 3: Profiller için tanımlanmış yüzey dirençleri [7]

Table E.1 — Surface resistances for profiles (horizontal heat flow)

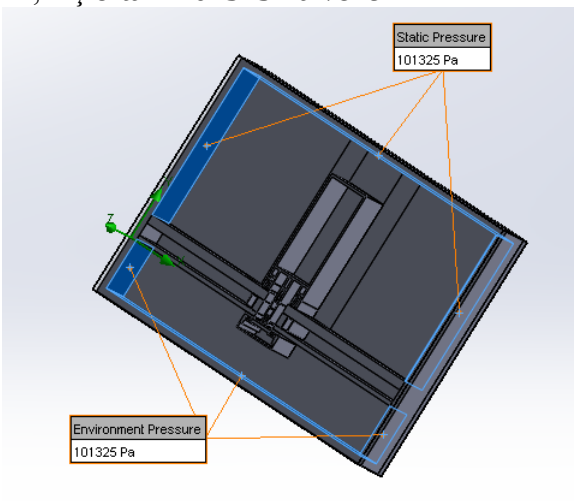
Position	External, R_{se} m²·K/W	Internal, R_{si} m²·K/W
Normal (plane surface)	0,04	0,13
Reduced radiation/convection (in edges or junctions between two surfaces, see Figure E.1)	0,04	0,20
NOTE These values correspond to the surface resistance values given in ISO 6946, which also gives further information about the influence of convection and radiation on surface resistances.		



Şekil 4: Yüzey direnci oluşturan hava hızları

3.3.1.2. Statik Basınç- Çevresel Basınç

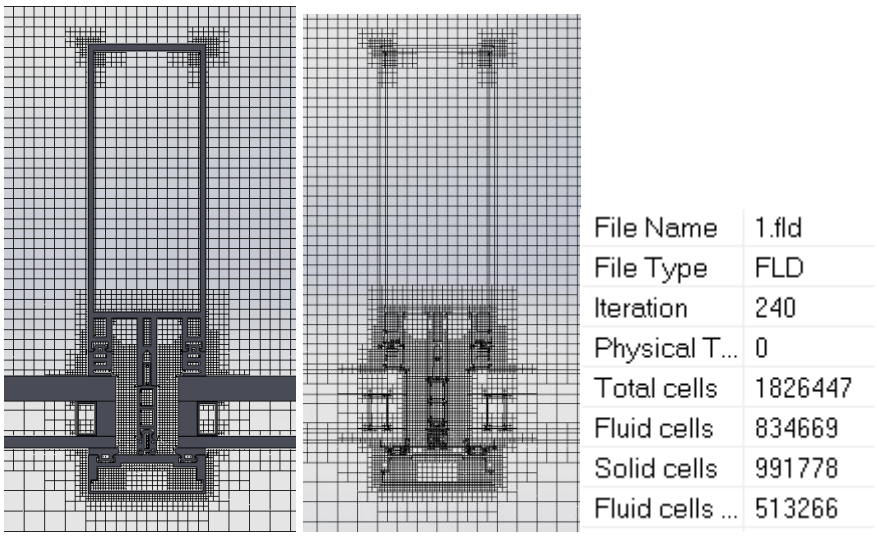
İç ortam 101325 Pa ve 20 °C, dış ortam 101325 Pa ve -3°C olarak tanımlanmıştır. (Şekil 5)



Şekil 5: Statik Basınç ve Çevresel Basınç

3.3.1.3. Model Ağ Yapısı

Ağ yapısı akışın ve ısı geçişinin gerçekleştiği bölgeyi tanımlamaktadır. Ağ (Mesh) optimizasyonunun sonuçların doğruluğu ve analiz koşturma süresi üzerinde doğrudan etkisi vardır. Model toplam 1826000 tane ağ oluşturularak çözülmüştür.(Şekil 6)



Şekil 6: Model Ağ Yapısı

3.4. Malzeme Listesi

Alüminyum cephe detayını oluşturan malzemeler ve ısı geçirgenlik değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. (Çizelge 4)

Çizelge 4: Malzeme Listesi

Materials list

	Name	Type	Cavity type	λx [W/mK]	λy [W/mK]	ε	Color
1	Aluminium (anodized/coated)	Standard	-	160.0000	160.0000	0.900	
2	EPDM	Standard	-	0.2500	0.2500	0.900	
3	Air gap - 0.02	Standard	-	0.0224	0.0224	0.900	
4	PVC rigid	Standard	-	0.1700	0.1700	0.900	
5	Butyl (isobutene) solid/hot melt	Standard	-	0.2400	0.2400	0.900	
6	Silicone pure	Standard	-	0.3500	0.3500	0.900	
7	Polyamid 6.6 with 25% glass fibre	Standard	-	0.3000	0.3000	0.900	
8	Silica gel (dessiccant)	Standard	-	0.1300	0.1300	0.900	
9	PVB layer	Standard	-	0.2000	0.2000	0.900	
10	Soda lime glass	Standard	-	1.0000	1.0000	0.900	

4. YOĞUŞMA ANALİZİ

Yoğuşma derecesi iç ortam sıcaklığı ve bağıl neme bağlı olarak değişmektedir. Aşağıdaki tabloda August-Roche-Magnus yaklaşımı kullanılarak hesaplanan yoğuşma dereceleri gösterilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi +20 ^{0}C iç ortam sıcaklığı ve %50 bağıl nem oranında yoğuşma sıcaklığı 9.3 ^{0}C'e eşittir. [10]

Çizelge 5: Yoğuşma Noktası

DEW POINT - *Calculation is based on the August-Roche-Magnus approximation*

INDOOR TEMPERATURE, ^{0}C	RELATIVE HUMIDITY (*RH, %*)													
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
30	10,5	12,8	14,9	16,8	18,4	20,0	21,4	22,7	23,9	25,1	26,2	27,2	28,2	29,1
29	9,7	12,0	14,0	15,8	17,5	19,0	20,4	21,7	23,0	24,1	25,2	26,2	27,2	28,1
28	8,8	11,1	13,1	14,9	16,6	18,1	19,5	20,8	22,0	23,1	24,2	25,2	26,2	27,1
27	7,9	10,2	12,2	14,0	15,7	17,2	18,6	19,8	21,0	22,2	23,2	24,3	25,2	26,1
26	7,1	9,3	11,3	13,1	14,8	16,2	17,6	18,9	20,1	21,2	22,3	23,3	24,2	25,1
25	6,2	8,5	10,5	12,2	13,8	15,3	16,7	18,0	19,1	20,3	21,3	22,3	23,2	24,1
24	5,3	7,6	9,6	11,3	12,9	14,4	15,7	17,0	18,2	19,3	20,3	21,3	22,3	23,1
23	4,5	6,7	8,7	10,4	12,0	13,5	14,8	16,1	17,2	18,3	19,4	20,3	21,3	22,2
22	3,6	5,8	7,8	9,5	11,1	12,5	13,9	15,1	16,3	17,4	18,4	19,4	20,3	21,2
21	2,8	4,9	6,9	8,6	10,2	11,6	12,9	14,2	15,3	16,4	17,4	18,4	19,3	20,2
20	1,9	4,1	6,0	7,7	9,3	10,7	12,0	13,2	14,4	15,4	16,4	17,4	18,3	19,2
19	1,0	3,2	5,1	6,8	8,3	9,7	11,1	12,3	13,4	14,5	15,5	16,4	17,3	18,2
18	0,2	2,3	4,2	5,9	7,4	8,8	10,1	11,3	12,4	13,5	14,5	15,4	16,3	17,2
17	-0,7	1,4	3,3	5,0	6,5	7,9	9,2	10,4	11,5	12,5	13,5	14,5	15,3	16,2
16	-1,6	0,5	2,4	4,1	5,6	7,0	8,2	9,4	10,5	11,6	12,5	13,5	14,4	15,2
15	-2,4	-0,3	1,5	3,2	4,7	6,0	7,3	8,5	9,6	10,6	11,6	12,5	13,4	14,2
14	-3,3	-1,2	0,6	2,3	3,7	5,1	6,4	7,5	8,6	9,6	10,6	11,5	12,4	13,2
13	-4,2	-2,1	-0,3	1,3	2,8	4,2	5,4	6,6	7,7	8,7	9,6	10,5	11,4	12,2
12	-5,0	-3,0	-1,2	0,4	1,9	3,2	4,5	5,6	6,7	7,7	8,7	9,6	10,4	11,2
11	-5,9	-3,9	-2,1	-0,5	1,0	2,3	3,5	4,7	5,7	6,7	7,7	8,6	9,4	10,2
10	-6,8	-4,8	-3,0	-1,4	0,1	1,4	2,6	3,7	4,8	5,8	6,7	7,6	8,4	9,2

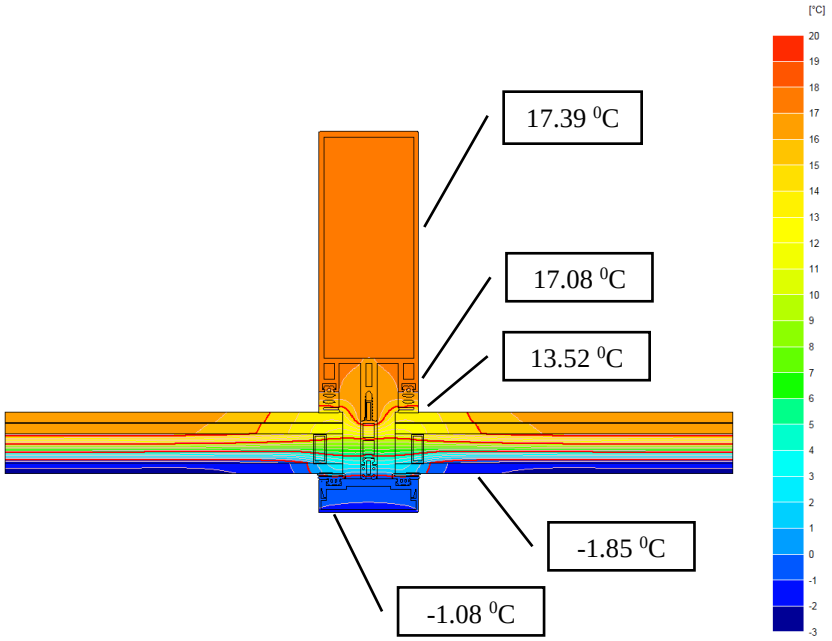
5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDIRMELER

Aşağıdaki sıcaklık dağılımı grafiklerinde "BISCO" , "FRAME Simulator" ve "Solidworks Flow Simulation" yazılımlarından elde edilen sonuçlar verilmektedir. Değerler alüminyum profili ve cam paneller üzerindeki birkaç noktadan elde edilmiştir.

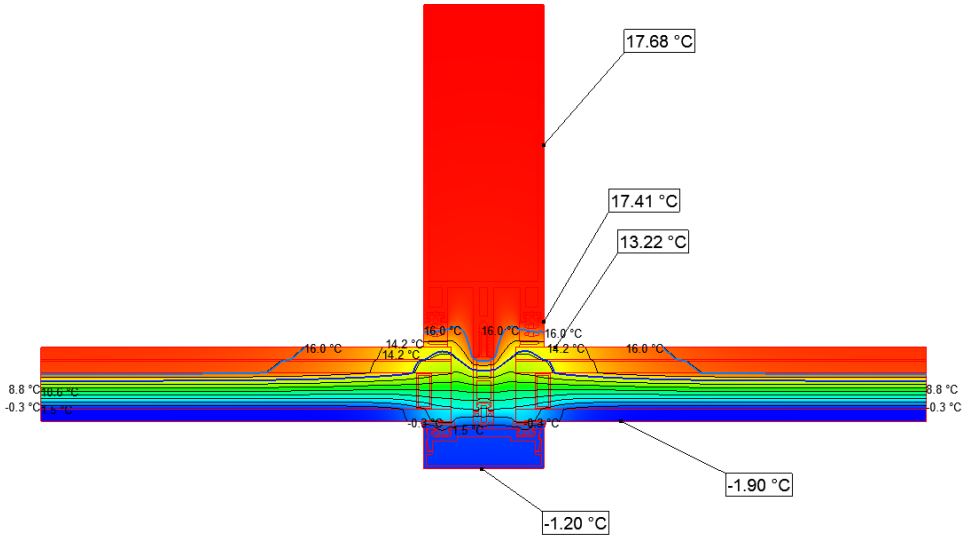
"EN 10077-2" referans alınarak analiz eden Bisco ve Frame Simulator yazılımları kullanılarak oluşturulan modeller arasında karşılaştırma yapıldığında iç ortamda alüminyum malzemesi üzerindeki sıcaklık değerleri yaklaşık 0.33 ^{0}C (17.41^{0}C-17.08^{0}C) birbirinden farklılık göstermektedir. Cam üzerinde ise yaklaşık 0.3^{0}C (13.52 ^{0}C-13.22^{0}C) gibi bir sıcaklık farkı vardır. Dış ortamdaki sıcaklıkları da göz önüne aldığımızda alüminyum ve cam üzerinde sırası ile 0.12^{0}C ve 0.05^{0}C ısı farkları oluşmaktadır. (Şekil 7, Şekil 8)

Genel olarak değerlendirildiğinde sıcaklıklar arasında oluşan farklar her iki yazılımdan elde edilen sonuçlarının birbirine yakın olduğunu göstermektedir.
EN 10077-2 standardında belirlenen sınır şartlar ile uyumlu bir şekikde oluşturulan 3 boyutlu CFD modeli 1.826.000 adet ağ ile 240 iterasyon ve 1,21 travel yaptırılarak çözdürülmüştür.
Analiz sonucu göstermektedir ki aluminyum üzerindeki minimum sıcaklık 19,45 °C, cam üzerindeki minimum sıcaklık ise 14,27°C dir. (Şekil 9)

Bu değerler aluminyum üzerinde Frame Simulator programı sonucuna göre 2,05 °C daha büyük, cam üzerinde ise Bisco yazılımına göre 0,75°C daha büyük çıkmaktadır.



Şekil 7: BİSCO yazılımı kullanılarak elde edilen sonuçlar



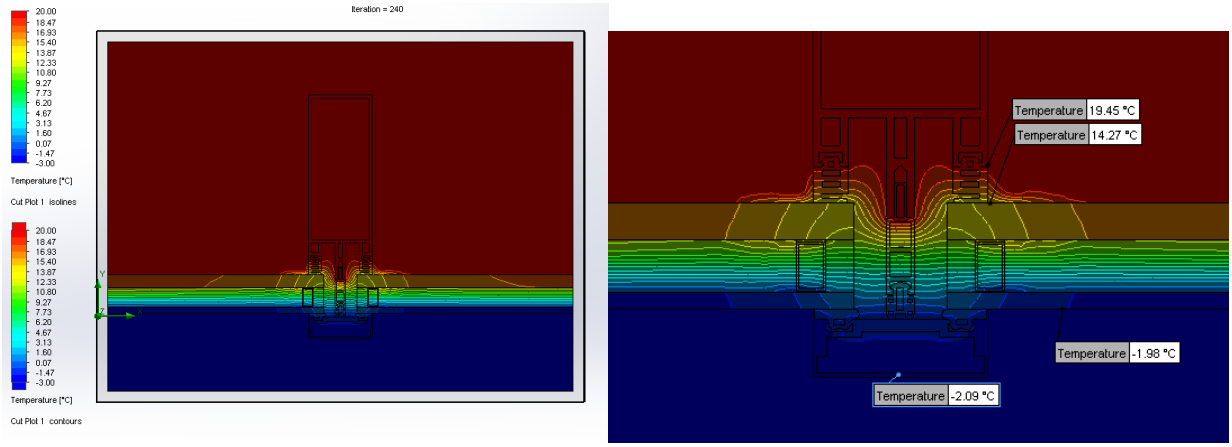
Şekil 8: "FRAME Simulator" yazılımı kullanılarak elde edilen sonuçlar

Eş sıcaklık eğrileri her üç analiz sonucunda da önemli ölçüde tutarlılık göstermektedir.

Analizlerde profil yüzeylerinin ısı geçişi açısından en kritik noktalar olduğu görülmektedir. Metalik malzemeler ısıl iletkenlikleri çok iyi oldukları için sıcaklık değerleri metal malzemeler üzerinde hemen hemen aynıdır. Ayrıca, eş sıcaklık eğrilerinden de anlaşılacağı üzere ısı geçişinin önemli bir kısmı aluminyum detay üzerinden olmaktadır.

Cam ve aluminyum yüzeyler üzerindeki en düşük sıcaklıklar aluminyum - cam geçiş bölgesinde görülmektedir. Bu sebeple cam çıtası (spacer) malzemesi ve cinsi tercihi yoğuşma kontrolü açısından oldukça kritik olmaktadır.

Sonuç olarak, örnek detayın modellendiği üç yazılımdan alınan iç ortam ile temas eden cam ve alüminyum yüzeylerindeki minimum sıcaklıklar August Magnus Roches yöntemine göre belirlenen yoğuşma noktasının üstünde olduğundan dolayı hem cam üzerinde hem de aluminyum üzerinde yoğuşma riski bulunmamaktadır.



Şekil 9: "Solidworks Flow Simulation" CFD yazılımı kullanılarak elde edilen sonuçlar

KAYNAKLAR

1. J. Oh, J Song, J. Lim, S. Song "Analysis of building energy savings potential for metal panel curtain wall building by reducing thermal bridges at joints between panels" *SBE16 Tallinn and Helsinki Conference; Build Green and Renovate Deep*, (5-7 October 2016), *Tallinn and Helsinki*, pp: 696-709.
2. M.J. Baea, J.H. Ohb, S.S Kimb "The effects of the frame ratio and glass on the thermal performance of a curtain wall system", 6th International Building Physics Conference, (IBPC 2015), pp: 2488 – 2493.
3. J. Nam, M. G. Jeong, H. S. Ryou, J.T. Kim, J.S. Namb, D.J. Kim, S.W. Cho "Validation of a numerical model for curtain walls with MVHS during free burning", *Fire Safety Journal*, **94**, (2017), pp: 45 – 53.
4. Jin-Hee Song, Jae-Han Lim, Seung-Yeong Song "Evaluation of alternatives for reducing thermal bridges in metal panelcurtain wall systems", *Energy and Buildings* **127** (2016), pp:138–158.
5. ASHRAE 90.1.2007, (2007) "Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings" American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, 2007.
6. Turkish Standard Institute (2013) Thermal Insulation Requirements for Buildings, TS 825, Ankara.
7. Comitte Europeen de Normalisation, (2017) Thermal Performance of Windows, EN ISO 10077-2:2017; Brussels.
8. International Standard Organization, (2003) Thermal Performance of Thermal Performance Of Windows, Doors And Shading Devices. ISO 15099, Geneva.
9. Turkish Standard Institute (2006) Building Components and Building Elements. TS EN ISO 6946. Ankara
10. A. Biler , (2015), Identification of Closed Cavity Façades in terms of Condensation Risk and Energy Performance, M.Sc. Thesis, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey.

3.Ulusal
Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi

10-11 Mayıs 2018
İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul

ENERJİ MODELİ KALİBRASYONU İÇİN BİR YAKLAŞIM

Dr. Öğr. Üyesi Yiğit Yılmaz[a]
BAU Mimarlık Fakültesi
Beşiktaş, İstanbul, 34353
Prof. Dr. Gül Koçlar Oral[b]
İTÜ Mimarlık Fakültesi
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

ÖZET

Küresel ısınma, yeşil alanların ve doğal kaynakların tahribatı ve dolayısı ile doğanın doğal dengesinin bozulması güncel çevresel sorunların temelini oluşturmakta ve bina stoku bu sorun içerisinde önemli rol oynamaktadır. Bu durumun önlenebilmesi için yeni yapılacak binalar ve var olan binaların özellikle enerji performanslarının iyileştirilmesi için kanun ve yönetmelikler çıkarılmaktadır.
Var olan binalarda enerji etkin iyileştirme çalışmaları çoğunlukla cephe ve aktif sistemlerin enerji etkin geliştirilmesine dayanmakta ve enerji etkin iyileştirme çalışmalarında sıklıkla enerji simülasyon programları kullanılmaktadır. Enerji etkin iyileştirme çalışmalarının amaç ve kapsamına uygun seçilmemiş simülasyon programı kullanımı ve kalibre edilmemiş enerji modeli ile yapılacak hesaplama değerlerinde önemli sapmalar meydana geldiği görülmektedir. Bu çalışmada, var olan bir ilkokul binasının enerji modeli oluşturularak mevcut enerji tüketimleri ile ASHRAE Guideline 14'e göre kalibre edilebilmesi için bir yöntem sunulmaktadır. Bu çalışmada kalibre olmuş enerji modeli ve diğer olası kalibre edilmemiş enerji modelleri için yapılan hesaplama değerlerinde meydana gelecek sapmalar vurgulanmaktadır. Çalışmada geliştirilen yöntem, var olan binalar için yapılacak enerji etkin iyileştirme çalışmalarının kalibrasyon aracılığıyla elde edilecek sonuçlarda sapmaların minimuma indirilmesini hedeflemektedir.

Anahtar sözcükler: Enerji simülasyonu, Kalibrasyon, Enerji etkin iyileştirme

ABSTRACT

Global warming and destruction of natural sources and of green space, thereby, the corruption of balance of nature becomes the main issue within the environmental concerns, where the building stock has also great effects. In order to deal with the issue, the codes and the regulations for new and existing buildings have been being carried out to improve energy efficiency on building stock.
Energy retrofitting of existing buildings is mostly applied with renovating to the active systems and to the facades, and the improvements on energy performances of the retrofitting are usually calculated via Energy Simulation Tools. It is observed that inadequate selection of simulation tool in terms of aim and scope of the energy retrofitting and uncalibrated energy model causes high deviation on results. In this study, a method has been developed with modelling energy simulation of an existing primary school building to be calibrated according to ASHRAE Guideline 14. The deviations within the results in the calculation process between calibrated energy model and uncalibrated alternatives are emphasized. The developed method aims to minimize deviation on the results of energy retrofitting with the calibration method.

Key words: Energy simulation, Calibration, Energy efficient retrofitting

[a] e-posta adresi: yigit.yilmaz@arc.bau.edu.tr
[b] e-posta adresi: kgul@itu.edu.tr

1.GİRİŞ

Hızla artmakta olan insan nüfusuna bağlı olarak yapma çevrenin gelişmesi karşısında enerji gereksinimi de artmakta bunun sonucunda enerji kaynakları giderek azalmaktadır. Özellikle fosil enerji kaynaklarının daha fazla kullanılması sonucunda sera gazı emisyonları kritik seviyelere yükselmektedir.

Bu sebeple öncelikle küresel sürdürülebilirliğin sağlanabilmesini amaçlayan uluslararası tedbir planlarını içeren toplantılar yapılmakta ve protokoller imzalanmaktadır. Küresel ölçekte sera gazı salımlarına sınırlandırmalar getiren Kyoto Protokolü Türkiye de dahil olmak üzere çok sayıda ülke tarafından imzalanmıştır. Sera gazı salımının yaklaşık %40'ı binaların ısıtma, soğutma ve aydınlatma ihtiyaçlarının karşılanması için tüketilen yakıtlar nedeniyle oluşmaktadır [**1**]. Sera gazı salımı ve dolayısıyla enerji tüketiminin azaltılması için binalarda enerji etkin yenileme çalışmalarının önemi her geçen gün daha da artmaktadır. Bu sebeple binalarda enerji performansının artırılmasını amaçlayan küresel ve ulusal ölçekte birçok kanun ve yönetmelik yayınlanmaktadır. Bunlardan biri de Avrupa Birliği Konseyi tarafından 2002 yılında yayınlanan Bina Enerji Performansı Direktifi (EPBD)'dir. Direktif binalarda enerji tüketiminin azaltılması ve mevcut binaların enerji etkin yenilenmesinin önemini ortaya koymaktadır. 2010 yılında yenilenen direktif ise [**2**], binalarda maliyet etkin enerji iyileştirme önerilerinin geliştirilmesinde; yeni yapılacak binaların enerji ve maliyet etkin tasarlanması ve var olan binaların enerji ve maliyet etkin iyileştirilmesi olarak bütüncül bakılması gerektiğini vurgulamakta, bu duruma kamusal binaların öncülük etmesi gerektiğini belirtmektedir.

Türkiye'de EPBD doğrultusunda 2008 yılında Bina Enerji Performansı Yönetmeliği çıkartılmış [**3**] ve sonrasında Ulusal Bina Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi ve BEP-TR Bina Enerji Kimlik Belgesi programı 2011 yılında yürürlüğe girmiştir. 1 Ocak 2011 tarihinden itibaren yeni yapılan binalar için Bina Enerji Kimlik Belgesi (EKB) zorunlu kılınmış, mevcut binalar için ise 2017 yılına kadar şart koşulan EKB düzenlemeleri, sonrasında 2020'ye ertelenmiştir.

Son yıllarda bina stokunun enerji etkinliğine ilişkin birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalar ile farklı bina tipolojileri ve iklim bölgeleri için, yeni yapılacak binaların enerji etkin tasarlanması ve var olan binaların enerji ve maliyet etkin yenilenmesine yönelik farklı yaklaşım modelleri önerilmekte ve binaların enerji etkin olarak önemli ölçüde iyileştirilmesi sağlanabilmektedir [**4-9**]. Ancak, enerji ve maliyet hesaplamalarının yapıldığı enerji modellerinden doğruya yakın sonuçlar alabilmek için, enerji modelinin var olan duruma göre kalibre edilmesi gerekmektedir. Bu sebeple, geliştirilen yaklaşımda örneklem olarak bir okul binası seçilmiştir. Okul binasının enerji modelinin oluşturulabilmesi için mimari tasarım parametrelerine ilişkin değerler, aydınlatma ve ısıtma sistemleri yerinde tespit edilmiş, okulun yıllık ve günlük programları irdelenmiş, ayrıca kullanıcı davranışları anketler yoluyla elde edilmiştir. Bu veriler dahilinde Design Builder simülasyon programında enerji modellemesi gerçekleştirilmiştir. Enerji modellemesinden sonra; ısıtma, aydınlatma sistemlerinin ve kullanıcı davranışlarının programlanmasında hassasiyetin ayarlanabilmesi için çalışmaya Energy Plus simülasyon programı ile devam edilmiştir. Kalibrasyon aşaması için enerji modelinde sahip olduğu değerleri net olmayan parametreler tespit edilmiş, olası değer aralıkları standartlar ve benzer örnekler üzerinden elde edilmiştir. Bu parametrelerin olası değerlerine göre oluşan çok sayıda enerji modeli varyasyonları oluşmuştur. Okulun mevcut durumda bir yılı kapsayan aylık ısıtma enerji giderleri üzerinden bu enerji modeli varyasyonlarının aynı döneme ait enerji hesaplamaları

yapılarak aradaki hata payı ASHRAE Guideline 14'te yer alan MBE (mean bias error) ve CV(RMSE) (coefficient of variation of the root mean square error) denklemlerine göre hesaplanmıştır. Varyasyonlar arasında çıkan sonuç farkları ve kalibre edilmemesi durumunda oluşabilecek hata oranları ortaya konmuştur. Kalibre edilen enerji modeli ve olası kalibre edilmemiş enerji modelleri arasındaki hesaplama sonuçlarındaki farklılıklar değerlendirilmiştir.

2.ÖRNEKLEMİN ENERJİ MODELLEMESİ

Gazi Mustafa Kemal Ortaokulu, detaylı dinamik hesaplama yöntemine dayanan Energy Plus simülasyon programı kullanılarak modellenmiştir. Örneklem okul binasının Energy Plus simülasyon programı ile üç aşamada enerji modelleme süreci gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, binanın mimari tasarım parametrelerine ilişkin veriler simülasyon programında tanımlanmıştır. Sonraki aşamada, binada kullanılmakta olan aktif sistemlere (iklimlendirme ve aydınlatma sistemleri) ait veriler enerji modeline tanımlanmış, son aşamada ise kullanıcı davranışları ve işleyiş çizelgeleri oluşturulmuştur.

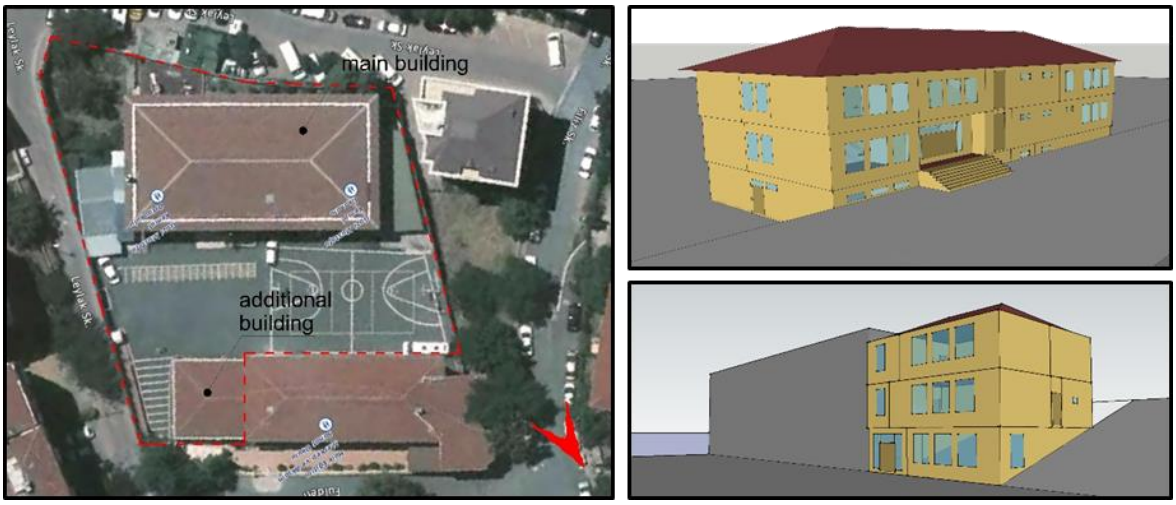
2.1. Mimari Tasarım Parametrelerine İlişkin Veriler

Bina 1998 yılında betonarme karkas sistem üzerine beşik çatılı olarak inşa edilmiştir. Binaya ait üç boyutlu görsel ve vaziyet planı **Şekil 1**'de yer almaktadır.

Gazi Mustafa Kemal Ortaokulu 2053 m^2 bürüt alana sahip olup ana bina ve ek bina olmak üzere iki ayrı binadan oluşmaktadır. Okula ilişkin mimari özellikler aşağıda açıklanmıştır;

- Ana bina; yarı bodrum, zemin ve birinci katlar olmak üzere 3 kattan oluşmaktadır. Ana binada 13 adet sınıf, iki adet laboratuvar, 1 adet anasınıfı, çok amaçlı salon, yönetim ve servis odaları bulunmaktadır.

- Ek bina; zemin, birinci ve ikinci katlar olmak üzere 3 kattan oluşmaktadır. Ek binada 3 adet sınıf, bir yönetim ve bir servis mahalli yer almaktadır.



Şekil 1: (sol) Vaziyet Görünüm, (sağ üst) Ana Bina 3 Boyutlu Görünüm, (sağ alt) Ek Bina 3 Boyutlu Görünüm

Binanın kuzey ve güney cephelerinin pencere/duvar yüzey alanı oranı %25, doğu ve batı cephelerinin ise %7'dir. Bina kabuğunun opak bileşeni olan dış duvarlarda, çatı ve bodrum döşemesinde ısı yalıtımı bulunmamaktadır. Bina kabuğunun saydam bileşeni olarak da çift cam kullanılmıştır. **Çizelge 1**, saydam bileşene ilişkin U değeri, güneş enerjisi geçirgenlik değeri ve gün ışığı geçirgenliği değerlerini, **Çizelge 2**, ise opak bileşenlerin katmanlaşma ve ısı geçişine ilişkin özelliklerini vermektedir.

Çizelge 1: Örneklem İlkokul Binası Saydam Bileşeni U değeri, Güneş enerjisi Geçirgenlik değeri ve Gün Işığı Geçirgenliği

Saydam Bileşen	U Değeri (W/m^2K)	Güneş Enerjisi Geçirgenlik Katsayısı	Gün Işığı Geçirgenliği (%)
Pencereler	$U_{dişpen}$=2.70	0.86	80

Çizelge 2: Örneklem İlkokul Binası Opak Bileşenlerin Katmanlaşma ve Isı Geçişine İlişkin Özellikleri

Opak Bileşen	Malzeme	Kalınlık (m)	Isıl İletkenlik (W/mK)	U Değeri (W/m^2K)
Dış Duvar	Dış sıva	0.030	0.80	$U_{dışduvar}$=1.149
	Tuğla	0.190	0.42	
	İç sıva	0.020	0.50	
Döşeme (Toprak ile Temas eden)	Betonarme	0.150	2.50	$U_{döşeme}$=2.498
	Şap	0.050	0.40	
	Seramik kaplama	0.010	1.20	
Çatı	Kiremit	0.025	1.00	$U_{çatı}$=1.879
	Hava boşluğu	(ısıl geçirgenlik direnci : 0.15 m^2K/W)		
	Keçe – Su yalıtımı	0.005	0.19	
	Ahşap panel	0.019	0.10	

2.2. Aktif Sistemlere Ait Veriler

Binada, prizmatik üç geçişli gaz yakıtlı sıcak su kazanı bulunmakta ve bina radyatörler vasıtasıyla ısıtılmaktadır. Kazan ana binada yer almakta, yer altından geçen izole borular vasıtasıyla ek binayı da ısıtmaktadır. Bina içinde sıcak su iletimini yapan borular izole edilmemiştir. Kullanım sıcak su hazırlama sıhhi tesisatı mevcut değildir ve kazan sadece ısıtma amaçlı kullanılmaktadır. Binada herhangi bir mekanik havalandırma sistemi bulunmamaktadır.

Yönetim odalarında, yaz döneminde soğutma amaçlı kullanılmak üzere split klimalar bulunmaktadır. Klimalara ait sıcaklık sensörü ya da termostatik kontrol paneli bulunmamakta, kullanıcı tarafından manuel olarak kumandalar vasıtasıyla kullanılmaktadır.

Aydınlatma, 7.27 W/m^2 güç yoğunluğu ile kurulmuş T5 floresanlar (36 W) tarafından sağlanmaktadır. Her hacmin aydınlatması kendi içinde yer alan tekli anahtar ile yönetilmekte ve herhangi bir ışık sensörü veya loşlaştırma sistemi yer almamaktadır.

2.3. Kullanıcı Davranışlarına Ve İşleyiş Çizelgelerine Ait Veriler

Kullanıcı yoğunluğu, kullanıcı davranışı ve işleyiş çizelgelerinin oluşturulabilmesi için okul yönetimden veriler talep edilmiş, yönetim ve öğretmenlerle görüşmeler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir;

- Okulda 24 öğretmen ve 382 öğrenci bulunmaktadır (ortalama sınıf başına 24 öğrenci düşmektedir). Eylül ortasında başlayan ilk dönem eğitim ve öğretimi Ocak sonunda bitmektedir. 10 Şubat'ta başlayan ikinci dönem ise 14 Haziran'da son bulmaktadır. Öğrenciler resmi tatiller ve hafta sonları dışında 09:00 – 15:20 saatleri arası okulda bulunmakta, yönetim (2 yönetici ve 5 memur) ise 08:00 – 17:00 saatleri arası okulda bulunmaktadır.

- Isıtma kazanı okulda görevli bir memur tarafından çalıştırılmaktadır. Isıtma sistemi, tatil ve hafta sonları dışında çalışmakta ve 06:30 – 17:00 saatleri arasında kullanılmaktadır.

- Aydınlatma sistemi genel olarak sınıflarda öğretmenlerin, koridorlarda nöbetçi öğretmenlerin kontrolünde kullanılmaktadır.

- Sınıflarda doğal havalandırma, pencerelerin çoğunlukla öğretmenler tarafından kontrolü ile sağlanmaktadır. Davranışsal olarak, iç ve dış sıcaklık farkı arttıkça pencerelerin açılma oranı düşmektedir. Anketler yoluyla pencerelerin açık kaldığı süreler tespit edilmiş, kullanıcı davranışlarındaki farklılık dış ve iç hava sıcaklığı farkına göre modüle edilmiştir [**10**].

3. ENERJİ MODELİNİN KALİBRASYONU

Enerji modelinin kalibrasyonu için ASHRAE Guideline 14'te önerilen yöntem kullanılmıştır. Yöntemde önerilmekte olan 5 adım, aşağıda sıralandığı gibi çalışmada uygulanmıştır;

1- Kalibrasyon aşamasının adımlarının belirlenmesi
2- Binayla ilgili veri toplanması
3- Sayısal enerji modelinin oluşturulması
4- Simülasyon sonuçları ile ölçüm sonuçlarının kıyaslanması
5- Enerji modelini kabul edilebilir hata payı ulaşıncaya kadar iyileştirme[**11**],

Okul binasına ait enerji modelinde bazı parametrelere ait değerler belirsizlik göstermektedir. Bu durum genel olarak kullanıcı davranışı ve eskiyen ekipmanların enerji modelinde tanımlanmasında meydana gelmektedir. Enerji modelinin kalibre edilebilmesi için bu parametrelere ait olası değer aralıkları belirlenmesi, bu değerlere göre oluşan enerji modeli varyasyonlarının sonuçlarıyla gerçek ölçümler arasındaki hata paylarının minimuma indirilmesi ve kalibre edilmiş değerlere ulaşılması gerekmektedir.

Okul binası için oluşturulan enerji modeli, alan çalışması ile elde edilmiş aylık ısıtma enerjisi giderlerine göre kalibre edilmiştir. Isıl performans kalibrasyonunu sağlayan bu adımda, ASHRAE Guideline 14'de önerilen yöntem (Whole Building Calibrated Simulation Approach) kullanılmış, ölçüm ve hesaplamalar arasındaki hata payları MBE (mean bias error) ve CV(RMSE) (coefficient of variation of the root mean square error) denklemlerine göre (denklem 1 ve 2 aşağıda yer almaktadır) hesaplanmıştır. Bu yönteme göre bir enerji modelinin aylık verilerle kalibre olabilmesi için ölçümlerle simülasyonlar arasındaki hata paylarının MBE için %5'i, CV(RMSE) için ise %15'i geçmemesi gerekmektedir [**11**].

Denklem 1 ve 2'de yer alan M_i faturalardan elde edilmiş aylık ölçülen nihai ısıtma enerjisini, S_i simülasyon sonucu hesaplanan aylık ısıtma tüketim değerini, N_p kullanılan aylık veri adetini, M_p ise mevcut durumda aylık ortalama ısıtma enerji tüketimini simgelemektedir.

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^{N_p}(M_i - S_i)}{\sum_{i=1}^{N_p} M_i} \quad (1)$$

$$CV(RMSE) = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{N_p}((M_i - S_i)^2/N_p)}}{M_p} \quad (2)$$

Okul binasına ait aylık nihai enerji giderleri 2014 yılına aittir. Bu yüzden, enerji modelinin kalibrasyonunda doğru sonuçlar elde edilmesi için Meteoroloji Genel Müdürlüğünden 2014 yılına ait İstanbul hava durumu bilgileri temin edilerek simülasyonlarda kullanılmak üzere simülasyon programı hava durumu veri tabanına işlenmiştir.

3.1. Kalibrasyona İlişkin Varsayımlar

Binada bulunan 2003 yılında imal edilmiş prizmatik üç geçişli gaz yakıtlı sıcak su kazanı için kazan verim değer aralığı tespitinde, üst değer için firmanın ürün broşüründe yer alan %93,3 kabul edilmiş, alt değer için ise olası eskime payına göre firmadan alınan %85 verimlilik değeri kabul edilmiştir. Aynı zamanda EN 15316 [**12**] standardı ile kazanın yapım yılına ve tipine göre olası verimlilik değeri hesaplanmıştır. Standartta yer alan hesaplama sonucu elde edilen %89,7 verim değeri ise üçüncü olası değer (ara değer) olarak, kalibrasyon için oluşturulan enerji modeli varyasyonlarına dahil edilmiştir.

Bina kabuğu hava geçirimsizliği, diğer bir belirsiz değere sahip parametreyi oluşturmaktadır. Alan çalışmaları sonucu elde edilmiş detay çizimleri, anket ve gözlemlere göre binanın hava geçirimsizlik performansı zayıftır. Bu yüzden, enerji modeli dosyasında hava geçirimsizlik değer aralığı, Uluslararası Enerji Ajansı tarafından yayınlanan 'Hava infiltrasyonu ve doğal havalandırma hesaplamaları için sayısal veriler' raporuna göre hazırlanmış, beş seçenek içerisinden en olumsuz iki seçenek olarak belirlenmiştir [**13, 14**].

Binada ısıtma kazanı herhangi bir kontrol paneli ile yönetilmemekte ve radyatörlerde termostatik vana yer almamaktadır. Bu sebeple ısıtma set sıcaklığı da belirsiz değere sahip parametrelerdendir. Anket ve gözlemlere dayanarak, ısıtma set sıcaklık değeri yüksek kabul edilmiştir.

Doğal havalandırma için enerji modelinde sabit bir pencere açılış kapanış zaman çizelgesi düzenlemek, mevsimsel davranış farklarından dolayı doğru sonuçlara ulaşmayı engellemektedir. Bu sebeple, anketlerden elde edilen kullanıcı davranışları temel alınarak, iç sıcaklık ile dış sıcaklık farkına göre pencerelerin açık kalma süresi modüle edilmiştir. Davranış farklarına sebep olan iç sıcaklık dış sıcaklık farklarının üst ve alt limitleri ise belirsiz değere sahip parametrelerdendir ve kalibrasyon kapsamında kabul edilen parametre aralıkları ve değerleri **Çizelge 3**'te verilmiştir.

Çizelge 3: Kalibrasyonda Kullanılan Belirsiz Değerlere Sahip Parametreler için kabuller

Belirsiz Parametreler	Birim	Değer aralık	Ara miktarı	Kalibre Değer
Kazan verimlilik değeri	%	(85 – 93)*	-	89.7
Hava geçirimsizlik	Akış katsayısı (kg/s m @ 1 Pa / Pa/s @ 1 Pa)	Zayıf – Çok zayıf	-	Çok zayıf
Isıtma set sıcaklık	°C	24 - 26	1	26
Doğal havalandırma için minimum iç sıcaklık	°C	20 - 24	2	24
Pencere açılım modulasyonu için sıcaklık farkı – yüksek değer**	°C	16 - 20	2	18
Pencere açılım modulasyonu için sıcaklık farkı - düşük değer**	°C	1-5	2	3

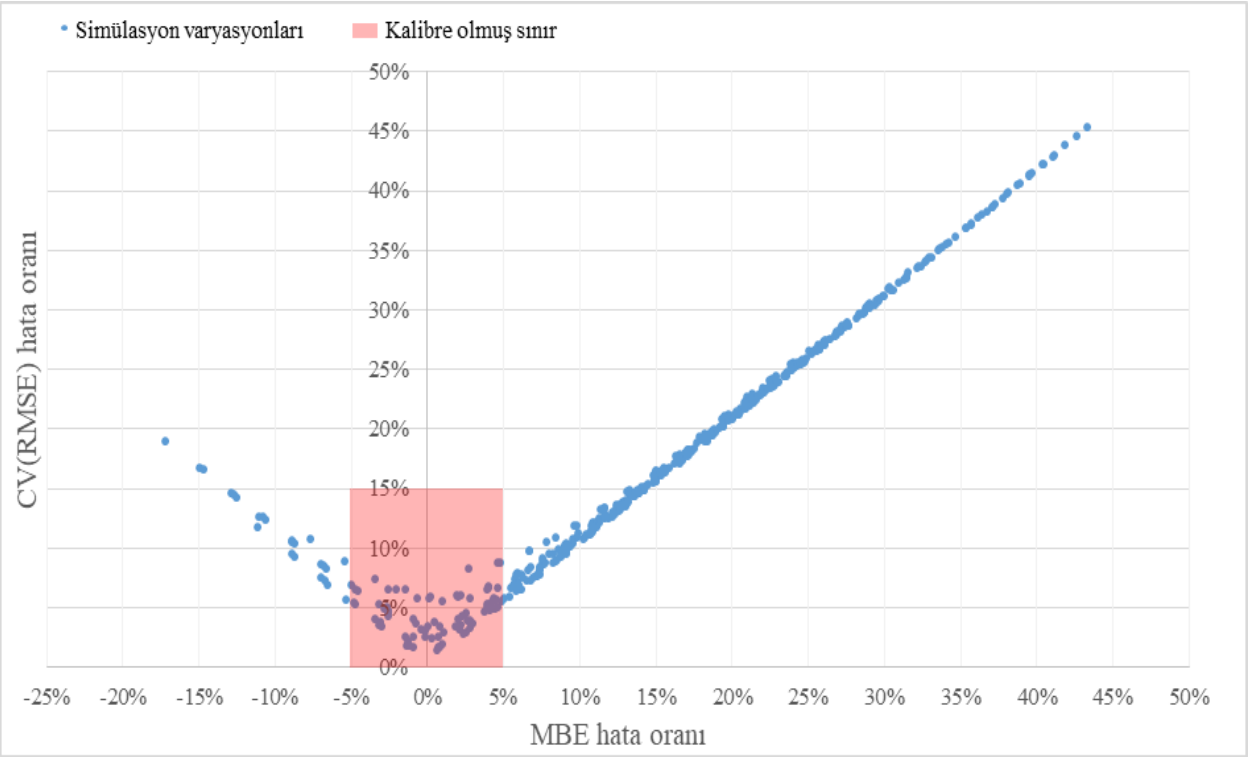
* Ara değer 89.7%'dir .
** İç ve dış sıcaklık farkına göre pencere açılım modülasyonunu ayarlamak için kullanılan yüksek sıcaklık farkı ve düşük sıcaklık farkı

Sonuç olarak, kalibre edilmiş enerji modelini elde edebilmek için 5 belirsiz değere sahip parametre tespit edilmiştir. Bu parametrelerin olası değerlerinden dolayı oluşan 486 adet enerji modeli varyasyonu simüle edilmiş, ASHRAE Guideline 14'te verilmiş olan MBE ve CV(RMSE) denklemlerine göre hata oranları hesaplanmıştır.

3.2. Kalibrasyondan Elde Edilen Sonuçlar

Enerji modeli varyasyonları Enerji Plus Simülasyon programı ile ısıtma enerji sarfiyatları ölçüm tarihleri ile uyumlu olacak şekilde hesaplanmıştır. Net değere sahip olmayan parametrelerin olası değer aralıklarındaki farklı değerlerle oluşan enerji modeli varyasyonları arasında oluşabilecek farkların karşılaştırılması hedeflenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, **Şekil 2**'de görüldüğü gibi 486 enerji modeli varyasyonun 75'i MBE (azami %5) ve CV(RMSE) (azami %15) değerleri açısından kalibre olmuş alanda yer almaktadır.



Şekil 2: CV (RMSE) ve MBE Hata Oranlarına göre Kalibrasyon Sonuçları

Varyasyonların Şekil 2'deki dağılımı göz önüne alındığında hata payının düştüğü bölümde daha çok sayıda varyasyon daha geniş bir alana yayılmaktadır. Fakat hata payının arttığı kısımlarda daha az sayıda varyasyon daha dar bir alan kaplamaktadır. Bu durumda net değere sahip olmayan parametreler için seçilen olası değer aralıklarını doğrulanmaktadır.

486 enerji modeli varyasyonu arasında en uygun sonuç, mevcut enerji tüketim değerlerine oldukça yakın çıkmıştır. Kalibrasyon sonucu seçilen enerji modelinin MBE hata payı %0.64 ve CV(RMSE) hata payı %1.43'tür. Çalışmada minimum hata paylarına sahip varyasyonun belirsiz parametre değerleri **Çizelge 3**'te yer almaktadır, çalışma kalibre edilmiş bu varyasyon üzerinden devam ettirilmiştir.

4. SONUÇLAR

Örneklem ilkokul binasının enerji modelinin kalibre edilmesi ile ilgili yapılan çalışmada elde edilen en önemli sonuçlar şöyledir;

- Var olan binalar için yapılan enerji modellerinde net değeri olmayan parametreler, öncelikle kullanıcı davranışlarının ve eskiyen aktif sistem ve bina elemanlarının enerji modelinde tanımlanmasında meydana gelmektedir

- Enerji modelindeki parametrelerin kalibre edilmemesi durumunda hata oranları %45'e kadar çıkabilmektedir. Bu tür çalışmalarda enerji iyileştirmeleri yaşam döngüsü açısından

değerlendirildiği düşünüldüğünde kalibre edilmemiş enerji modeliyle yapılacak hesaplamalar sapma oranı çok yüksek sonuçlara varılmasına sebep olabilmektedir.

- İlkokul binasının ölçülmüş ısıl enerji harcamaları ile kalibre olmuş enerji modelinden elde edilen sonuçlar çok yakın iken bu sonuçlar ile kalibre olmamış enerji modelinden elde edilen sonuçlar arasında önemli farklılıklar görülmektedir. Aylık ısıl enerji harcamasındaki sapma 20000 kWh değerlerine ulaşmaktadır.

Sonuç olarak kalibre olmuş enerji modeli ve kalibre edilmemiş enerji modelleri arasındaki oluşabilecek önemli hata oranları binalardaki enerji harcamalarında önemli değişimlere yol açmaktadır. Çalışmada geliştirilen yöntem ile kalibre edilmiş ilkokul binası enerji modeli üzerinden enerji etkin iyileştirme çalışmaları yaparak yaklaşık sıfır enerji tüketen ilkokul binası hedefine yönelik öneriler geliştirmek olanaklı olabilecektir.

KAYNAKLAR

1. European Commision, Energy Statistical Pocketbook. https://ec.europa.eu/energy. Erişim tarihi Kasım 10, 2016.

2. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and the Council of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings (recast), 2010.

3. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, 5 Aralık 2009 (revizyon: 1 Nisan 2010).

4. Ascione F., Bianco N., De Stasio C., Mauro G.M., Vanoli G.P., A new methodology for cost-optimal analysis by means of the multi-objective optimization of building energy performance, Energy and Buildings (Energy Build.), 88, 78-90, 2015.

5. Wang B., Xia X., Zhang J., A multi-objective optimization model for the life cycle cost analysis and retrofitting planning of buildings, Energy and Buildings (Energy Build.), 77, 227-235, 2014.

6. Mangan S.D., Oral G.K., Assessment of residential building performances for the different climate zones of Turkey in terms of life cycle energy and cost efficiency, Energy and Buildings (Energy Build.), 110, 362-376, 2016.

7. Hamdy M., Hasan A., Siren K.. A multi-stage optimization method for cost-optimal and nearly-zero-energy building solutions in line with the EPBD-recast 2010, Energy and Buildings (Energy Build.), 56 (3), 189-20, 2013.

8. Ferreira M., Almeida M., Rodrigues A., Silva S.M., Comparing cost-optimal and net-zero energy targets in building retrofit, Building Research & Information, 44, 188-201, 2016.

9. Ferrara M., Fabrizio E., Virgone J., Filippi M., A simulation-based optimization method for cost-optimal analysis of nearly Zero Energy Buildings, Energy and Buildings (Energy Build.), 84, 442-457, 2014.

10. DesignBuilder Software Ltd. DesignBuilder Help - Natural ventilation option. *http://www.designbuilder.co.uk/helpv2*. Erişim tarihi Şubat 19, 2016.

11. ASHRAE, ASHRAE GUIDELINE 14-2002, Measurement of Energy and Demand Savings, 8400, 2002.

12. BS EN 15316-4-1-2008, Heating systems in buildings — Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies, 2002.

13. Orme M., Liddamen M.W. t, Wilson A., Numerical Data for Air Infiltration & Natural Ventilation Calculations, International Energy Agency, Air Infiltration and Ventilation Centre, 1995

14.DesignBuilder Software Ltd. DesignBuilder Help - Natural ventilation option. http://www.designbuilder.co.uk/helpv2/Content/Calculated_Natural_Ventilation_Options.htm. Erişim tarihi Şubat 29, 2016.

3.Ulusal
Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi

10-11 Mayıs 2018
İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul

RÜZGAR-YAPI ETKİLEŞİMİNİN ÖN TASARIM AŞAMASINDA TAHMİNİNE YÖNELİK BİR ALGORİTMA

Araş. Gör. İlker Karadağ[a]
Dr. Öğr. Üyesi Nuri Serteser[b]
İTÜ Mimarlık Fakültesi
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

ÖZET

Yapı - rüzgar etkileşimi, üç yaklaşımdan biri ile veya bunların bir kombinasyonu ile tahmin edilebilir: (1) yerinde ölçümler, (2) rüzgar tüneli ile deneysel analiz veya (3) hesaplamalı akışkanlar dinamiği (Computational Fluid Dynamics) yazılımları ile sayısal analiz. Ön tasarım aşamasında kullanılmaları söz konusu olduğunda bu yöntemlerin çok zaman alıcı olduğu ve akışkanlar dinamiği açısından detaylı çalışmalar yapılmasını gerektirdikleri bilinmektedir. Bu yöntemler özellikle bina formunun dinamik olarak değişmesi durumunda verimli değildir. Ayrıca, verilerinin gerçek zamanlı olarak alınması söz konusu olduğunda hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) simülasyonları ön tasarım aşamasında değerlendirme yapmak açısından pratik değildir. Tüm bu nedenlerden dolayı hızlı ve güvenilir bir yönteme ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktada gerçek zamanlı çalışabilecek, geometriye dair sınırlamalar barındırmayan ve en önemlisi çözüm ağına (mesh) ihtiyaç duymayan bir algoritma yazılması öngörülmüştür. Bu çalışma kapsamında yazılan algoritmaya ve alınan çıktılara dair detaylar verilmektedir. Literatürde yer alan temel vaka çalışmalarının geliştirilen algoritma ile de simülasyonu yapılmıştır. Sonuç olarak geliştirilen algoritmanın ön tasarım aşamasında mimarlar için yapı-rüzgar etkileşimi analizlerinde kullanılabileceği ve değerlendirme yapılabileceği ortaya konulmuştur.

Anahtar sözcükler: Rüzgar etkin tasarım, Bina aerodinamiği, Hesaplamalı akışkanlar dinamiği

ABSTRACT

Wind-building interaction can be estimated with one of three approaches, or a combination of these: (1) on-site measurements, (2) reduced-scale wind tunnel measurements or (3) numerical simulation based on CFD. It's clear that for early design stage, existing fore mentioned methods are very time consuming and they require detailed study in terms of of fluid dynamics. These methods are not efficient especially in the case that the building form changes dynamically. Besides, both wind tunnel analysis and CFD simulations are not efficient when it comes to take output data in real-time. Due to all of these reasons, a need for a fast and robust method occurs. At this point, a very powerful method which doesn't require solid geometry as an input, besides in which there's no need to use mesh (control volume) is developed. In this study, the details of the developed algorithm and the output of it are given. The basic case studies in the literature are also simulated by the algorithm. As a result, it is seen that the developed algorithm can be a guide in building-wind interaction analysis for architects in the preliminary design phase.

Keywords: Wind efficient design, Building aerodynamics, Computational fluid dynamics

[a] e-posta adresi: karadagi@itu.edu.tr
[b] e-posta adresi: serteser@itu.edu.tr

1.GİRİŞ

Yapı - rüzgar etkileşimi, üç yaklaşımdan biri ile veya bunların bir kombinasyonu ile tahmin edilebilir: (1) yerinde ölçümler, (2) rüzgar tüneli ile deneysel analiz veya (3) hesaplamalı akışkanlar dinamiği (Computational Fluid Dynamics) yazılımları ile sayısal analiz. Her bir yaklaşımın kendine özgü avantajları ve dezavantajları olduğundan, belirli bir problem için hangi yaklaşımın en uygun olduğuna karar vermek her zaman kolay değildir. Yerinde ölçümlerin ve rüzgar tüneli ölçümlerinin önemli bir dezavantajı, genellikle sadece nokta verilerinin elde edilmesidir. Prensip olarak Parçacık Görüntü Velosimetrisi (Particle Image Velocimetry) ve Lazerle İndüklenen Floresans (Laser-Induced Fluorescence) gibi teknikler, düzlemsel ve hatta üç boyutta tüm verilerinin elde edilmesini mümkün kılar, ancak bu tür teknolojilerinin maliyeti ciddi anlamda yüksek ve özellikle çok sayıda binadan oluşan bir kentsel model için veya karmaşık geometriler için uygulandıklarında lazer ışını geometriler sebebiyle engellenebilir [**1**]. Ayrıca, farklı rüzgâr tüneli laboratuvar çalışmalarının karşılaştırılmasına yönelik yapılan son çalışmalar, birçok durumda % 50'ye varan oranlarda yüksek farklılıklar olduğunu göstermiştir [**2**]. Bu olumsuz koşullara rağmen, NIST TN1655 ve ASCE / SEI 49-12 ve ASCE 7. gibi uluslararası standartlara uyumluluğun sağlanması durumunda bir rüzgar tüneli çok güvenilir olabilir. Bu standartlar, binalardaki ve diğer yapılardaki rüzgar yüklerini belirlemek için rüzgar tüneli testlerini yürütmek ve yorumlamak için asgari gereklilikleri tanımlar. İnşaat mühendisleri, mimarlar ve rüzgar mühendisleri de dahil olmak üzere binalar için rüzgar tüneli testleri hazırlayan, yürüten ve yorumlayan kişiler için yararlıdır [**3**].

Rüzgar akış karakteristikleri ayrıca hesaplamalı akışkan dinamiği (CFD) simülasyonları ile de belirlenebilir. Bu sayısal simülasyonlar ile bina çevresinde çok geniş bir alanda yüksek çözünürlüklü rüzgar verisi elde etmek mümkündür. Özellikle, meteorolojik verilerin hız girdisi olarak alındığı ve logaritmik rüzgar profilinin kullanıldığı, uygun bir türbülans modelinin belirlendiği ve yeterli sayıda iterasyonun yürütüldüğü sayısal analizler ile hassas sonuçlar alınabilmektedir. Bununla birlikte, sonlu eleman yaklaşımı ile ilgili temel problem, simülasyon alanını bölen bir ağın (mesh) hesaplanması gerekliliğidir. Tipik olarak ağ oluşturma aşaması, bir akışkanlar dinamiği simülasyonu süresinin % 80' inden fazlasını kaplar [**4**]. Ayrıca, ağ kalitesi, çözümün doğruluğunu belirleyen kritik bir faktördür. Bunun yanısıra, bu tür teknik yazılımlar için geometrinin katı (solid) olarak hazırlanması geremektedir. Fakat mimarlik pratiğinde çoğu zaman komplike modeller oluşturulmakta ve solid geometri şartı sağlanmamaktadır.

Ön tasarım aşamasında, mevcut geleneksel yöntemlerin çok zaman alıcı olduğu ve akışkan dinamikleri hakkında derin bir bilgi gerektirdiği bilinmektedir. Bu yöntemler özellikle bina formunun dinamik olarak değişmesi durumunda verimli değildir. Ayrıca, verilerinin gerçek zamanlı olarak alınması söz konusu olduğunda CFD simülasyonları ön tasarım aşamasında değerlendirme yapabilmek açısından pratik değildir. Tüm bu nedenlerden dolayı hızlı ve güvenilir bir yönteme ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktada gerçek zamanlı çalışabilecek, geometriye dair sınırlamalar barındırmayan ve en önemlisi çözüm ağına (mesh) ihtiyaç duymayan bir algoritma yazılması öngörülmüştür.

2. METOT: PARÇACIK TABANLI ÇALIŞAN YENİLİKÇİ BİR ALGORİTMA

Yapı- rüzgar etkileşiminin çözümlenebileceği bir algoritma yazabilmek için üç farklı adım izlenmiştir. İlk adımda benzeşim modeline karar verilmiştir; ikinci adımda fiziksel denklermlerin nasıl entegre edileceği kararlaştırılmıştır; üçüncü ve son aşamada ise denklemlerin çözümünün yürütüleceği solver (çözücü) belirlenmiştir. Çalışma kapsamında rüzgar akımı parçacık ölçeğine indirgenmiş ve her bir parçacığın ilk konumu ve hızına göre bir sonraki konumu ve hızı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Tahminler sırasında parçacıkların birbirleriyle ve katı geometrilerle ilişkisi de çözüme entegre edilmiştir. Algoritma geliştirilirken izlenen tüm adımlar detaylı olarak devam eden bölümlerde verilmektedir.

2.1. Benzeşim (Simülasyon) Modeli

Bir sistemi simüle edebilmek için onu çoğunlukla asıl sisteme mümkün olduğunca benzeştirmeye çalışmak gerekir. Bu benzeştirmede dikkat edilmesi gereken nokta asıl sistemden alınması gereken tüm parametrelerin özenle seçilmesi ve yürütülecek simülasyon (benzeşim) için gerekli olmayan tüm bileşenlerin çıkartılmasıdır. Bu aşamada asıl sistemi birebir kopyalamak değil yapılacak analiz için en uygun hale getirmek ciddi anlamda önemlidir [**5**].

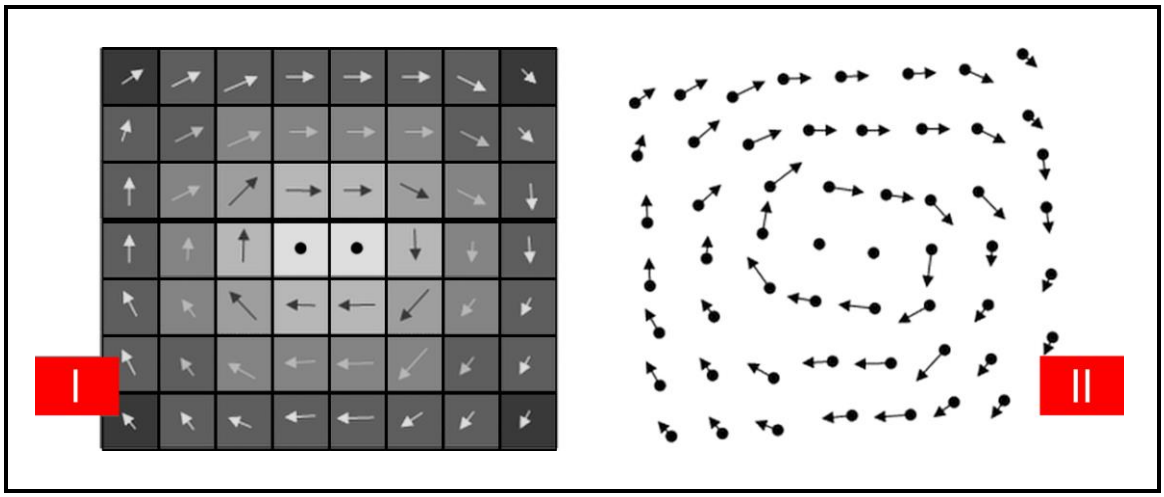
Yapı- rüzgar etkileşimi söz konusu olduğunda bir akışkan olan havanın da benzeştirilmesi gerekir. Bu amaçla, bu çalışmada hava akımı parçacık düzeyine indirgenmiştir. Çok geniş bir alanda akışı çözümleyebilmek için ise parçacık sayısı artırılmıştır.

2.2. Fiziksel Denklemlerin Entegrasyonu

Hava akımlarını parçacık düzeyine indirgeyerek benzeşim modelini belirlenmiştir ancak parçacıkların birbirleriyle ve geometrilerle etkileşimi için denklemlerin tanımlanması gereklidir. Akışkanlar dinamiğinde akışı matematiksel olarak tanımlamak için iki metot bulunmaktadır. İlki, her bir akışkan parçacığı (diğer bir deyişle, akışkan içindeki her bir küçük kütle için) için hızı, zamanın bir fonksiyonu olarak almaktır. Çok küçük bir damla boyanın bir su akıntısına bırakıldığını ve boyanın izlenerek, herhangi bir zamanda hareket ettiği yönü ve hızın da izlendiği düşünülebilir. Bu, Lagrangian koordinatlarını kullanarak akışı tanımlamaya karşılık gelir.

Bir başka yaklaşım, sınırlı bir ölçüm alanı belirleyerek bu alanda sabit koordinatların tanımlanmasıdır. Daha sonra bu koordinat sisteminde belirlenen ön tanımlı noktalardan geçen her bir parçacığın hızı incelenir. Bu kez küçük boya damlası hareket ettikçe, hareketi her bir noktada ayrı ayrı tanımlanır, bu işlem ardışık olarak her noktada devam eder. Boya damlasının anlık konumu Langarian metodunda olduğu gibi kendi lokal koordinat sistemine göre değil, daha önceden tanımlanan ölçüm alanının koordinat sistemi referans alınarak sabit bir grid üzerinde belirlenir. Bu, Eulerian koordinatlarını kullanarak akışı tanımlamaya karşılık gelir. Langarian metodunda gerçekçi sonuç alabilmek için çok fazla sayıda parçacığın izlenmesi gerekir (Şekil 1). Akışın bir alanda tanımlandığı ve her bir parçacığın tek tek izlenmediği bunun yerine gridal bir sistemde yer alan noktalardan geçerken hızlarının ölçüldüğü Eulerian Metodu daha pratik gibi görünse de sabit bir gridal sistem gerektirmesi akışı kısıtlayacaktır ve yine geleneksel CFD yazılımlarında olduğu gibi ağ (mesh) tanımlamak gerekecektir.

Eulerian metodunda parçacıkların konum, kütle ve hızları bilinmelidir. Aynı zamanda simülasyonun yürütüldüğü ortamla gerçek dünyanın zaman kavramı farklı olduğundan, ekranda yenilenen her kareyi (frame) referans alıp bir sonraki kare için parçacıkların hız ve konumlarının bulunması gerekir. Kare sayısı ne kadar arttırılırsa iki kare arasında geçen süre o kadar kısalır ve yapılan tahminler gerçeğe çok daha fazla yakınsar.



Şekil 1. Eulerian Metodu (I) - Lagrangian Metodu (II)

Parçacıkların başlangıçta tanımlanan bir hızla hareket etmesi gerekir, bu da yapı- rüzgar etkileşimi söz konusu olduğunda rüzgar hızıdır. Rüzgar analizlerinde genellikle meteoroloji istasyonlarında yürütülen uzun zamanlı ölçümlerle elde edilen, zemin seviyesinden 10 m yükseğe ait hızlar referans alınır. Rüzgar hızını doğrudan sabit parçacık hızı olarak tanımlamak yerine onları ivmelendiren bir kuvvet olarak ele almak gerçeğe daha yakın sonuçlar alınmasını sağlar.

Parçacık konumu ve hızı tahmini için temel fiziksel denklemleri entegre etmek gerekir. Kullanılacak denklemler hareket denklemleridir ve Newton'un 2. Yasası olarak bilinirler (equations of motion) ve bir net kuvvet için bir nesnenin tam olarak ne kadar ivmeleneceğini verirler. Eğer zaman "t" ile gösterilirse, simülasyon sırasında her iki kare arasında geçen zaman dt (zaman farkı -delta time) ile gösterebilir. Böylelikle aşağıda ifade edilen bilinen fizik denklemleri yazılır;

$$\text{ivme} = \text{kuvvet} / \text{zaman} \quad (1)$$

$$\text{konumdaki değişim} = \text{hız} * dt \quad (2)$$

$$\text{hızdaki değişim} = \text{ivme} * dt \quad (3)$$

Bu denklemler koda dökülmelidir, bu noktada basit bir örnekle algoritmanın temel düzeyde fiziksel denklemleri nasıl entegre ettiği görülebilir. 1 kilogram ağırlığındaki sabit bir nesneye 10 Newton'luk sabit bir kuvvet uygulanıp, bir saniye süren zaman aralıklarıyla ileriye doğru iterasyon yapıldığında (Kod 1), alınan çıktı Tablo 1'de verilmiştir.

Kod 1. Fiziksel Denklemlerin Entegrasyonu

```
    double t = 0.0;
    float dt = 1.0f;
    float hız = 0.0f;
    float konum = 0.0f;
    float kuvvet = 10.0f;
    float kütle = 1.0f;


while (t <= 10.0)
    {
        konum = konum + hız * dt;
        hız = hız + (kuvvet / kütle) * dt;
        t += dt;
    }
```

Tablo 1. Kod 1'in dt = 1 sn olduğunda ürettiği çıktı

```
    t=0:    konum = 0      hız = 0
    t=1:    konum = 0      hız = 10
    t=2:    konum = 10     hız = 20
    t=3:    konum = 30     hız = 30
    t=4:    konum = 60     hız = 40
    t=5:    konum = 100    hız = 50
    t=6:    konum = 150    hız = 60
    t=7:    konum = 210    hız = 70
    t=8:    konum = 280    hız = 80
    t=9:    konum = 360    hız = 90
    t=10:   konum = 450    hız = 100
```

Tablo 1'de görüldüğü üzere, her adımda nesnenin hem konumu hem de hızı bilinmektedir. Bu sayısal entegrasyon Euler Entegrasyonu olarak bilinir ve en temel sayısal entegrasyon tekniğidir. Yalnızca değişiklik oranı her bir zaman dilimi (time rate) boyunca sabit olduğunda % 100 doğrudur. Verilen örnekte ivme sabit olduğundan, hızın entegrasyonu hatasızdır. Fakat diğer taraftan, konumun da bulunması gerekir ve bunun için de hız entegre edilir, fakat hız ivme nedeniyle sabit değildir ve artmaktadır. Bu sebeple, konumun entegrasyonunda hata olacağı öngörebilir. Bu hatanın boyutunu görebilmek için, bir nesnenin sürekli ivme altında nasıl hareket ettiğini veren formül kullanabilir, böylelikle konum için kesin değerlere ulaşılır:

konum = hız * zaman + ½ * ivme * t^2 (4)

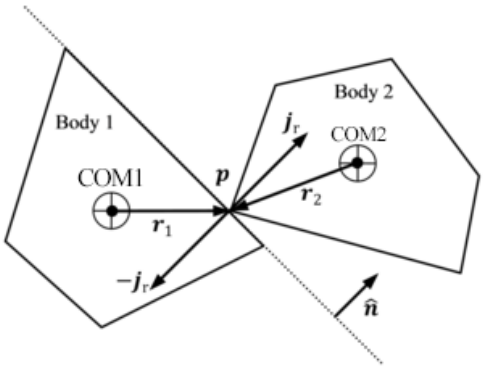
Denklem 4'te değerler yerine konulduğunda nesnenin 10 saniye sonra 500 metreye taşınmış olması gerektiği görülmektedir, ancak Euler Entegrasyonu ile 450 metrelik bir sonuç alınmıştır. Bu yalnızca 10 saniyelik süre zarfında 50 metrelik hatalı konum farkı oluşması demektir. Fakat dt = 1 saniye olağan bir zaman aralığı değildir. Özellikle oyun motorlarında fiziksel simülasyonlar ekran kare oranının (saniyede yenilenen kare sayısı) çok daha altında bir zaman aralığında gerçekleşir. Çünkü ortalama bir oyunda her bir karede fiziksel simülasyonlar için ayrılan zaman saniyenin 1/200'ü kadardır. Eğer zaman aralığı dt = 1 ⁄ 100 saniye olarak alınmış olsaydı, yani her 1 saniyede cismin konumu eş zamanlı aralıklarla 100 kez hesaplanmış olsaydı, alınan sonuçların gerçeğe çok daha yakın olacağı düşünülmektedir:

Tablo 2. Algoritma 1'in dt = 1/100 sn olduğunda ürettiği çıktının son satırları

```
t=9.90:     konum = 489.552155     hız = 98.999062
t=9.91:     konum = 490.542145     hız = 99.099060
t=9.92:     konum = 491.533142     hız = 99.199059
t=9.93:     konum = 492.525146     hız = 99.299057
t=9.94:     konum = 493.518127     hız = 99.399055
t=9.95:     konum = 494.512115     hız = 99.499054
t=9.96:     konum = 495.507111     hız = 99.599052
t=9.97:     konum = 496.503113     hız = 99.699051
t=9.98:     konum = 497.500092     hız = 99.799049
t=9.99:     konum = 498.498077     hız = 99.899048
t=10.00:    konum = 499.497070     hız = 99.999046
```

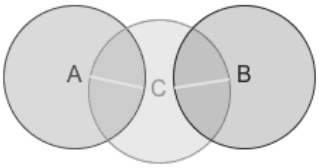
2.3. Çözücü (Solver)

Bu aşamaya kadar tek bir nesnenin konum ve hızının nasıl entegre edildiğine yer verilmiştir , fakat yapı – rüzgar etkileşiminde parçacıkların birbirleriyle ve katı geometrilerle etkileşimde bulunması gerekeceği düşünülmüştür. Bu noktada parçacıkların birbirleriyle çakıştıklarında oluşan temas noktasında bir kuvvet hesaplanabilir ve parçacıklara tepki kuvveti (impulse) olarak uygulanabilir. Bu kuvvet, her iki parçacığı bir sonraki karenin başlangıcında artık birbirleriyle çakışmaz hale getirecektir [**6**]. Bu yalnızca tek bir kare için geçen kısacık sürede gerçekleştirilmeye çalışılır ve literatürde "Tepki tabanlı çarpışma çözümü (impulse-based collision resolution)" olarak bilinir (Şekil 2).



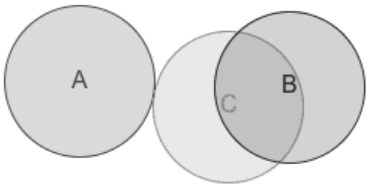
Şekil 2. Tepki tabanlı çarpışma çözümü (p: temas noktası, COM: kütle merkezi, j: tepki kuvveti) [**6**]

Rüzgar- yapı etkileşimi söz konusu olduğunda yüksek çözünürlükte veri alabilmek için binlerce parçacık kullanmak gerekecektir. Şu ana kadar tek bir objenin hız ve konumu tahmin etmeye çalışılmıştır ve ayrıca iki farklı parçacığın çarpışma durumu incelenmiştir. Bundan sonraki aşamada parçacık sayısı ne kadar artarsa artsın yeterli olacak bir çözüm metoduna ihtiyaç duyulacaktır. Bunun için A ve B olarak adlandırılan iki parçacık olduğu varsayalabilir, bu iki parçacığın her birinin C adında bir parçacık ile çakıştığı düşünülebilir. Bu iki adet sınırlayıcı (constraint) yani çözülmesi gereken iki adet denklem demektir: A - C ve B – C (Şekil 3).



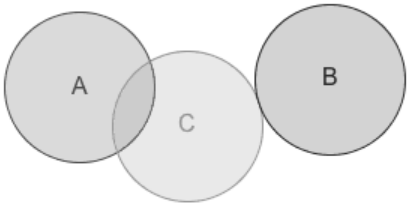
Şekil 3. C'nin A ve B'ye göre konumu, çizgiler sınırlayıcıları (constraint) gösterir.

Öncelikle A – C etkileşiminin çözüldüğü düşünülecek olursa, bu hem A hem de C'nin hareket etmesi ve birbirlerinden tamamen kopmalarını sağlar. Fakat bu kez C, B ile daha fazla çakışmaya başlar. Çünkü henüz C ve B arasında etkileşimi hesaba katılmamıştır (Şekil 4).



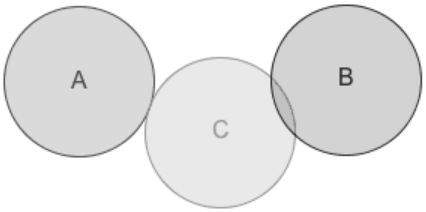
Şekil 4. Adım 1: A – C etkileşimi

Bu kez B ile C etkileşimini çözülmelidir. Bu çözüm B ve C'nin artık çakışmamasını ve yeni konumlarını almalarını sağlar fakat bu kez de B, A ile az da olsa çakışmaya başlar (Şekil 5).



Şekil 5. Adım 1: B – C etkileşimi

Bir önceki adımda A ve B birbirlerinden farklı biçimde C'ye göre konum aldıklarından tekrar çakışma olmuştu. Fakat çözüme devam edildiğinde giderek daha iyi sonuçlar alınacağı görülmüştür (Şekil 6).

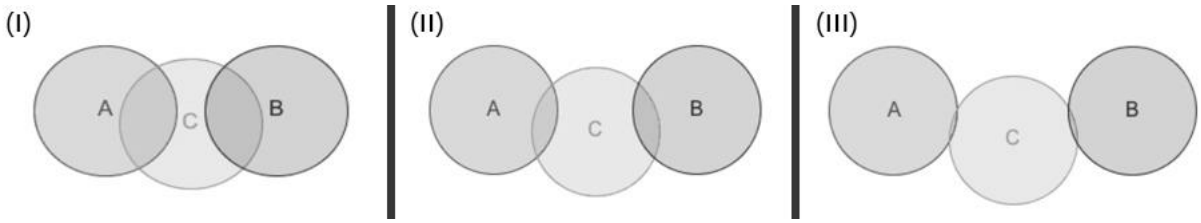


Şekil 6. Adım 2: A – C etkileşimi

Artık çözüme çok yakınsanmakla birlikte (convergence) hala tam olarak sonuca ulaşılmış değildir, tekrar iterasyon yapmaya devam edilebilir, yeterli iterasyon sayısına ulaşıldığında parçacıkların artık birbirleriyle çakışmayacağı görülür ve parçacıklar arası etkileşim çözülmüş olur. Tüm etkileşimlerin birbirinden bağımsız ve sıralı olarak çözülmesi çok zor gibi görünse de aslında etkili bir yöntemdir ve Gauss-Seidel methodu olarak bilinir. Özetle sonuca 10 değil de 5 adımda ulaşan bir metod bulunduğunda daha hızlı yakınsayan bir algoritma elde edilmiş olur ve gerçek zamanlı çıktı alınabilir.

Gauss-Seidel metodunda sıralı çözüm uygulanır ve her bir denklem birbirinden bağımsız olarak çözülür. Bir önceki adımdan alınan çıktı bir sonraki adımda girdi olarak kullanılır. Fakat her iki denklem de eş zamanlı aynı girdilerle çözülebilir ve çıktıların ortalamasını alınabilir. Bu noktada ortaya çıkan yöntem Jacobi methodu olarak bilinir (Şekil 7). Jacobi, Gauss-Seidel metoduna göre daha fazla iterasyonda sonuca ulaştırsa da her iki denklem de aynı çıktıları kullandığından eş zamanlı çözülebilir ve böylelikle bir önceki adımı bekleme gereksinimi ortadan kalkar. Bu da paralel olarak çözüm yürütülebilmesi manasına gelir. Örneğin 25 denklemden oluşan bir sistemi 25 kişi bağımsız olarak çözebilir, bu da Gauss-Seidel'e göre 25 kat hızlı sonuç almak demektir. Üstelik denklemlerin hangi sırada çözüldüğünün bir önemi yoktur, bu da denklemleri çözerken belirli bir sırayla hareket edilmesiyle alınabilecek farklı sonuçların da önüne geçer.

Özetle iterasyon sayısı arttıkça çözüme daha fazla yakınsanır fakat gerçek zamanlı bir çözüm hedefleniyorsa optimum iterasyon sayısının belirlenmesi gerekir. Daha az iterasyon daha hızlı sonuç demektir fakat bu kez de hassasiyet azalır.

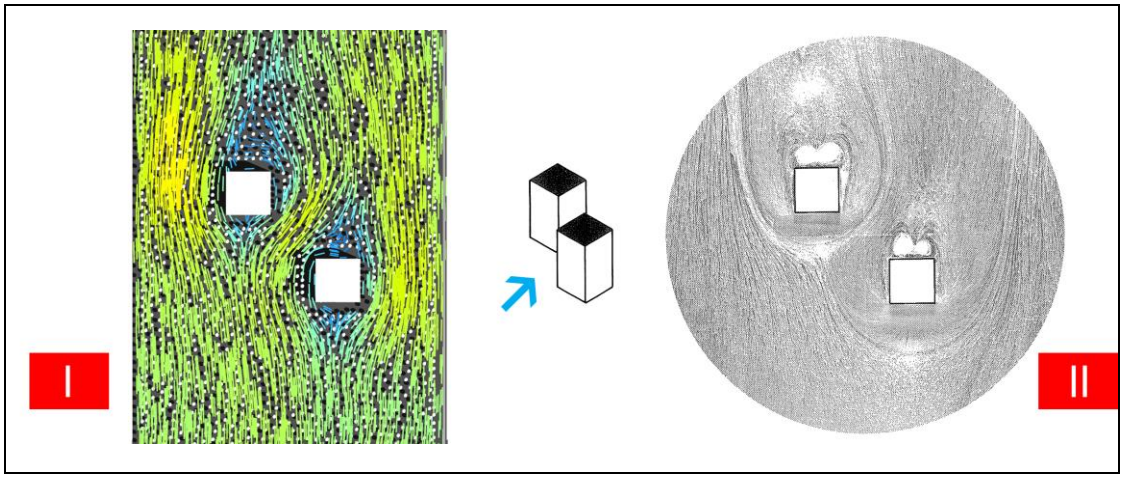


Şekil 7. A-B ve A – C etkileşiminin eş zamanlı olarak çözümünün yer aldığı adımlar - I, II ve III.

3. ANALİZ: ALGORİTMANIN SINANMASI

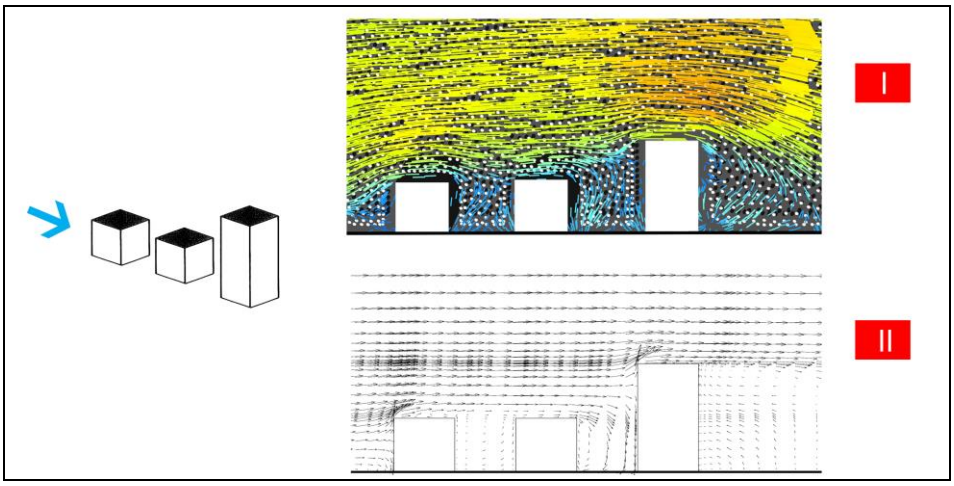
Yapı-rüzgar etkileşimi analiz edilirken özellike temel geometriler etrafındaki akış karakteristiğinin bilinmesi gerekir. Düz yüzeyli ve keskin köşeli geometriler genellikle "katı" geometriler olarak tanımlanır ve birçok yapı formunda görülür. Bu geometriler etrafındaki akış çizgileri (streamlines) akış boyunca rüzgar-üstü (windward) bölgeden rüzgar-altı (leeward) bölgeye kadar kesintisiz olarak geometri yüzeyini takip etmez. Bunun yerine akış keskin köşelerde yapı yüzeyinden ayrışır, bu akışkanın momentumunun akışkanı birarada tutan zayıf kohesif viskoz kuvvetlerini geçtiği anda gerçekleşir. Ayrışma hattı boyunca hızda katmanlaşma oluşur (shear layer) ve rüzgar-altı bölgede türbülanslı iz alanı (wake area) gelişir, bu alan iki yönden de ayrışan akımla çevrelidir.

Akışın tahmin edilebilir ayrışma durumu kübik, dikdörtgensel yapılar (bluff bodies) söz konusu olduğunda keskin köşelerde ve kenarlarda her zaman benzer karakteristiğe sahiptir ve çok farklı rüzgar hızlarında bile benzer akış karakteristikleri görülür [**1**]. Bu kapsamda iki kübik yapının aralıklı ve şaşırtmalı olarak konumlandırıldığı rüzgar tüneli çalışması geliştirilen algortima ile de test edilmiştir (Şekil 8). Özellikle akımın ayrıştığı alanların ve rüzgar altı alandaki iz bölgelerinin büyük oranda yakalanabildiği gözlenmiştir. İki yapı arasından geçen akımın doğrultusu ve yine hız kazanması da akış karakteristiğinin tahminine yönelik çıktıların doğruluğunu gösterir niteliktedir.



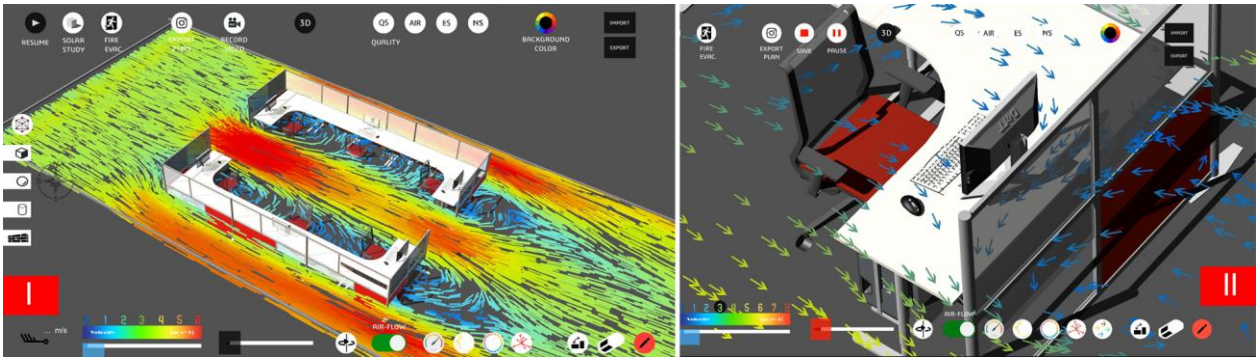
Şekil 8. Kübik bir yapının diğerinin etki alanında olması hali (I: algoritma, II: rüzgar tüneli [**1**])

Rüzgar tüneli ile karşılaştırma dışında hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımları ile sayısal doğrulama da yürütülmüştür. Çalışma kapsamında iki kübik yapı (6m*6m*6m) ve nispeten yüksek bir yapı (6m*6m*12m) eşit aralıklarla (6 m) sıralı olarak konumlandırılmıştır. Bu tür durumlarda özellikle yapıların arkasında kalan iz alanlarının çözümlenebilmesi ve çatı hizasında ayrışan akımın görülebilmesi önem taşımaktadır. Deneysel doğrulamada olduğu gibi sayısal doğrulama çalışması sonucunda da algoritmanın ön tasarım aşamasına yönelik yeterli çıktı üretebildiği gözlemlendi.

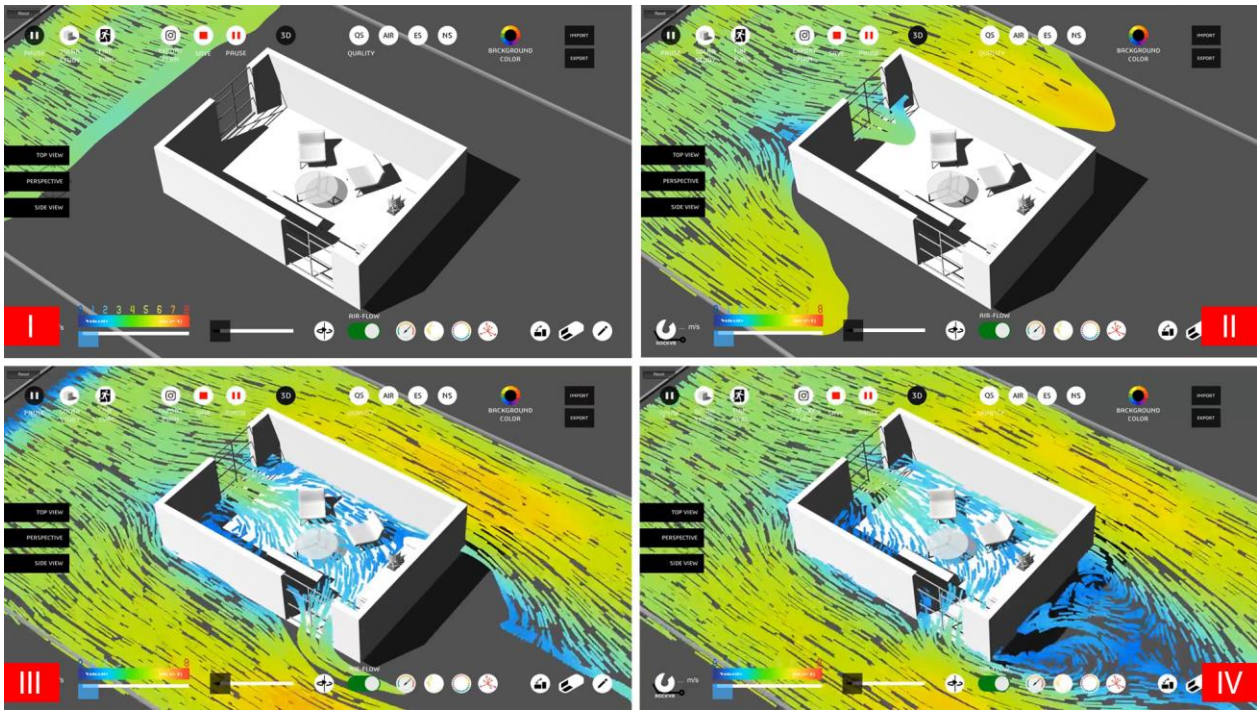


Şekil 9. Kübik bir yapının diğerinin etki alanında olması hali (I: algoritma, II: CFD [**8**])

Literatürde yer alan rüzgar tüneli ve CFD analizi ile karşılaştırmak dışında daha komplike durumlar için de analizler gerçekleştirilmiştir. Bilindiği üzere sürdürülebilir yapıları gerçekleştirmek için mekanik havalandırmaya olan bağımlılığı azaltacak ve enerji tüketimini düşürecek doğal havalandırma sistemleri etkili stratejilerdir. Bu kapsamda bölme duvarlı bir ofis mekanı için de analiz yapılmış ve akışın beklendiği gibi kanal (funnel) etkisiyle hızlandığı görülmüştür. Rüzgar akışı hem akış çizgileriyle (streamlines) hem de vektörlerle gösterilmiştir. (Şekil 10). Diğer bir alternatif olarak, basit bir yaşama mekanı ele alınmış ve farklı cephelerde açıklıklar düzenlenmiştir. Analiz sırasında beklenen çapraz havalandırma (cross verntilation) durumu açık bir şekilde gözlenmiştir. Akışın gelişim aşamaları Şekil 11'da verilmiştir.



Şekil 10. Algortimayla test edilen bölme duvarlı bir ofis mekanı (I: akış çizgileri, II: hız vektörleri)



Şekil 11. Algortimayla test edilen basit bir yaşama mekanı (akışın gelişimi: I, II, III, IV)

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, yapı-rüzgar etkileşiminin erken tasarım aşamasında çözümüne yönelik geliştirilen, gerçek zamanlı çalışan ve ağ (mesh) gerektirmeyen yeni bir algoritmaya dair detaylar açıklanmıştır. Algoritmanın geliştirilme süreci; ~~üç farklı adımda anlatıldı.~~ benzeşim modelinin belirlenmesi, fiziksel denklemlerin entegrasyonu ve son olarak çözücünün tasarlanması, olarak 3 farklı adımda ele alınmıştır.

Çalışma kapsamında literatürde yer alan temel vaka çalışmaları geliştirilen algoritma ile simüle edilmiştir. Sonuç olarak geliştirilen algoritmanın ön tasarım aşamasında mimarlar için yapı-rüzgar etkileşimi analizlerinde rehber olabileceği görülmüştür. Özellikle gerçek zamanlı çalışması mimarların hızlı data almasını sağlayacak böylece ön tasarım aşamasında mimarın bina formunu değiştirerek sonuçları karşılatırmasını ve yapı rüzgar etkileşimi açısından optimum bina formunu belirlemelerinde yol gösterici olacaktır. Dolayısıyla sonuçlara etkisi kısıtlı olacak parametrelerin önceden belirlendiği parçacık tabanlı bu algoritma mimarlık pratiği düşünülerek geliştirildiğinden, mimarların kolaylıkla yazılımdan veri alabilmesi mümkün olabilecektir.

Bu çalışma temel alınarak yürütülecek yeni çalışmalar için geliştirilen algoritmanın rüzgar tüneli ile deneysel olarak ve / veya hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile sayısal olarak doğrulanması gerekmektedir. Ayrıca, bundan sonra yürütülecek çalışmalarda önerilen algoritmanın; özellikle kanal (funnel) etkisinin daha iyi çözülebilmesi, yapı geometrisindeki küçük detayların da simüle edilebilmesi ve çok daha fazla sayıda parçacık ile simülasyona olanak sağlayacak şekilde geliştirilmesi hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

1. Blocken, B. ve Carmeliet, J. “Pedestrian Wind Environment around Buildings: Literature Review and Practical Examples.” Journal of Thermal Envelope and Building Science, vol. 28, no. 2, 2004, pp. 107–159., doi:10.1177/1097196304044396.

2. NIST Technical Report. “Toward a standard on the wind tunnel method”, 2009.

3. Wind tunnel testing for buildings and other structures: ASCE/SEI 49-12. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2012.

4. Liu, G. R. “An introduction to meshfree methods and their programming”. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2005.

5. Hensen, J. L. M.. "Simulating Building Performance: Just How Useful Is It?", REHVA Journal, nr. 4, Federation of European Heating, Ventilating and Air-conditioning Associations. REHVA, Brussels, 18-24, 2003.

6. Fluid Simulation. (2016). “Foundations of Physically Based Modeling and Animation”.

7. Stathopoulos, T. ve Blocken, B. “Pedestrian Wind Environment Around Tall Buildings.” Advanced Environmental Wind Engineering, 2016, pp. 101–127., doi:10.1007/978-4-431-55912-2_6.

8. Moret, R. A., Gomes, M. G., A. Canha Da Pıedade. “Wind environment around building complexes”, 5th International Conference on Urban Climate. Lódz, Polónia, Setembro 2003.

3.Ulusal
Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi

10-11 Mayıs 2018
İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul

TARİHİ CAMİLERDE CEPHE AYDINLATMASI - ÜSKÜDAR MİHRİMAH SULTAN CAMİİ ÖRNEĞİ

Mimar Pınar Çavuşoğlu[a]
OPTI-MUM Aydınlatma, Kadıköy, 34736
Prof. Dr. Leyla Dokuzer Öztürk[b]
YTU Mimarlık Fakültesi, Beşiktaş, İstanbul, 34349

ÖZET

Kent silüetini şekillendiren, kentin sembollerinden biri olan tarihi eserlerin cepheleri sıklıkla aydınlatılmaktadır. Tarihi yapılar arasında camiler önemli bir yer kaplar ve cami cephe aydınlatması kent aydınlatmada büyük önem taşır. Yapıldıkları dönemi yansıtan görkemli tarihi camilerin aydınlatılarak gece de tüm ihtişamları ile algılanması sağlanmalıdır. Cephesi aydınlatılmış bir yapı, uygulanan teknik ve yaklaşıma bağlı olarak birbirinden çok farklı görünümlere kavuşabilir. Bu çalışmada tarihi bir caminin mevcut aydınlatma düzenini incelemek, mevcut düzenden farklı aydınlatma düzeni alternatifleri tasarlamak ve aydınlatmada farklı yaklaşımların caminin gece görünümüne etkisini ortaya koymak amaçlanmıştır. Belirtilen amaca yönelik çalışma için İstanbul'da yer alan Üsküdar Mihrimah Sultan Camii ele alınmıştır. Cami üç boyutlu olarak AutoCAD, Sketchup ve Lumion bilgisayar programlarından yararlanarak modellenmiştir. Caminin mevcut aydınlatma düzeni ve mevcut düzenden farklı aydınlatma alternatifleri Lumion programında oluşturulmuş, aydınlatma tasarım alternatifleri karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Anahtar sözcükler: Kent Aydınlatma, Cephe Aydınlatması, Tarihi Camiler, Üsküdar Mihrimah Sultan Camii

ABSTRACT

The facades of the historical monuments that shape the silhouette of the city and are one of the symbols of the city, are often illuminated. The mosques are important among historical buildings and lighting of the mosque facades is of great importance in urban illumination. The magnificent historical mosques, reflecting the era which they were structered, must be illuminated to provide the perception of all its glory at night. Depending on the applied technique and approach, an illuminated façade can have very different appearances. In this study, it is aimed to investigate the current lighting arrangement of a historical mosque, to design alternative lighting arrangements different from the current lighting design, and to reveal the effects of the different approaches in lighting on the night view of the mosque. Mihrimah Sultan Mosque located in Üsküdar, İstanbul, was handled for study of the stated purpose. The mosque was modeled in three dimensional using Autocad, Sketchup and Lumion computer programs The current lighting design of the mosque and alternative lighting designs different from the current one were created in Lumion program and lighting design alternatives were compared and evaluated.

Key words: Urban lighting, Facade Lighting, Historical Mosques, Üsküdar Mihrimah Sultan Mosque

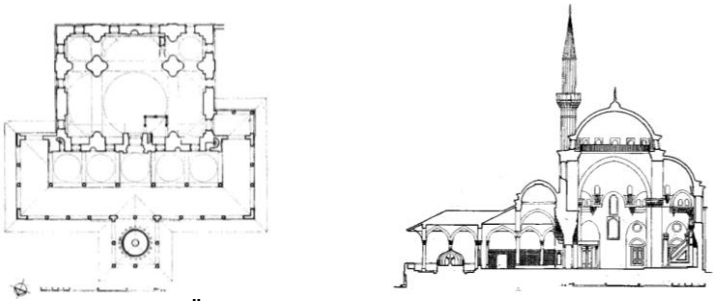
[a] e-posta adresi: pinar.cavusoglu@outlook.com
[b] e-posta adresi: dokuzer@yildiz.edu.tr

1.GİRİŞ

Yapıların dış aydınlatmasında kullanılan geleneksel ışık kaynaklarının yerini günümüzde önemli ölçüde, küçük boyutlarından ötürü yapının mimarisi ile bütünleşebilen, çeşitli aydınlatma tekniklerinin kolaylıkla uygulanabilmesini sağlayan, statik ve dinamik aydınlatma olanağı sunan LED'ler almıştır. Yapı yüzü aydınlatmasında, ışıklandırma, duvar sıyırma, vurgu aydınlatması, siluet aydınlatması, kontur aydınlatma, geçen ışıklılık ve medya cephe tekniği olmak üzere temelde yedi ayrı teknikten yararlanılabilir **[1-2]**. Bir aydınlatma düzeninde yapının mimari özelliklerine göre bu tekniklerden biri ya da birkaçı birden uygulanabilir. Bir yapı, uygulanan teknik ve yaklaşıma bağlı olarak birbirinden çok farklı görünümlere kavuşturulabilir. Bir başka deyişle, bir yapıya uygulanan aydınlatma düzeni değiştikçe o yapının görünümü, dolayısıyla mimari anlatımı da değişir. Başarılı bir aydınlatma düzeninden beklenen yapının mimari özelliklerini vurgulayarak mimari anlatımını güçlendirmesidir. Tarihi yapıların dış aydınlatmasında amaç yapıyı gece görünür kılmak ve tanıtmanın yanı sıra o yapının tarihi kimliğini, mimari özelliklerini ve kent içindeki önemini doğru yansıtmak olmalıdır. Tarihi yapılar arasında camiler önemli bir yer kaplar ve cami aydınlatması kent aydınlatmada büyük önem taşır. Çünkü aydınlatılmış tarihi camiler, konumları itibarıyla kent siluetinin gece görünümünü de etkiler. Bu çalışmada, bir tarihi caminin mevcut aydınlatma düzenini incelemek, cephe aydınlatmasına yönelik mevcut aydınlatma düzeninden farklı aydınlatma alternatifleri geliştirmek, bu alternatifleri karşılaştırmak ve değerlendirmek amaçlanmıştır. Belirtilen amaca yönelik çalışma için İstanbul'da yer alan Üsküdar Mihrimah Sultan Camii ele alınmıştır.

2. ÜSKÜDAR MİHRİMAH SULTAN CAMİİ MİMARİ ÖZELLİKLERİ

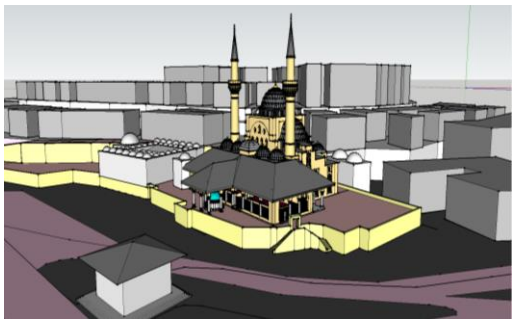
İstanbul'un Üsküdar İlçesinde bulunan Mihrimah Sultan Camii (İskele Camii), Kanuni Sultan Süleyman'ın kızı Mihrimah Sultan için 1548 yılında Mimar Sinan tarafından yapılmıştır **[3].** Dış ölçüleri 27.30 m×21.80 m olan cami, kanatlar ve mihrab tarafı yarım kubbelerle beslenen kubbeli bir orta mekan ile kıble duvarının köşelerinde dikdörtgen mekanı tamamlayan küçük kubbeli hacimler şeklinde düzenlenmiştir. Çapı 11.40 m olan ve merkezi 24.20 m yüksekliğe ulaşan ana kubbe kuzeyde beden duvarlarından bina içerisine taşan ve güneyde uçları yuvarlatılmış dört kollu ayaklara binen sivri kemerlere oturmaktadır. Caminin üç yarım kubbesinin köşeleri ekzedralarla beslenmiştir. Caminin kıble tarafındaki köşelerini tamamlayan kare hacimlerin 4.30 m çapındaki kubbeleri kırık pandantiflerle sekizgen tamburlara oturmaktadır. Son cemaat yeri beş kubbeli ve çift revaklıdır. Geniş saçaklı dış revak son cemaat yeri önündeki şadırvanın da üstünü örtmektedir **[4]**. Caminin tek şerefeli iki minaresi vardır. Cephesinde sağır kemerli ve sivri kemerli pencereler bulunmaktadır **(Şekil 1) [5]**.



Şekil 1: Üsküdar Mihrimah Sultan Camii planı ve kesiti **[5]**

3. CAMİNİN BİLGİSAYAR ORTAMINDA MODELLENMESİ

Ele alınan cami, gerek mevcut aydınlatma düzeninin gerekse farklı aydınlatma düzeni alternatiflerinin oluşturulabilmesi için, bilgisayar ortamında modellenmiştir. Bunun için Mihrimah Sultan Camii ölçülü planların görsellerinde işli ölçüler kullanılarak AutoCAD programında caminin planı, çatı planı ve cephe görünüşleri oluşturulmuştur. AutoCad çizimleri Sketchup programına aktarılarak cami olabildiğince ayrıntılı modellenmiştir **(Şekil 2).** Sketchup'ta oluşturulan model, gerçeğe uygun görüntü alabilmek amacıyla Lumion programına aktarılmış, burada yüzey malzemeleri atanarak modelleme tamamlanmıştır. Modellemede caminin yakın çevresindeki yapılar da kütlesel olarak gösterilmiştir **(Şekil 3).**



Şekil 2: Caminin Sketchup modeli



Şekil 3: Caminin Lumion modeli

Caminin ön, yan, arka cepheleri, avlusu ve son cemaat yerini gösteren gündüz fotoğrafları **Şekil 4**'te, bu fotoğraflardaki görünümlere karşılık gelen Lumion görseller **Şekil 5**'de gösterilmiştir.



Ön cephe**[6]** Avlu**[7]** Son cemaat yeri**[8]** Yan cephe **[9]** Arka cephe **[10]**

Şekil 4: Üsküdar Mihrimah Camii gündüz fotoğrafları



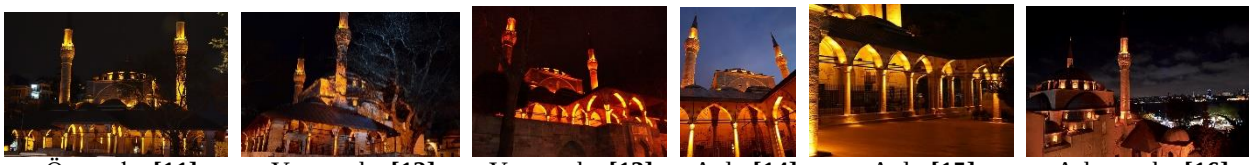
Ön cephe Avlu Son cemaat yeri Yan cephe Arka cephe

Şekil 5: Üsküdar Mihrimah Camii Lumion modeli; gündüz görünümleri

4. CAMİNİN MEVCUT AYDINLATMA DÜZENİNİN MODELLENMESİ

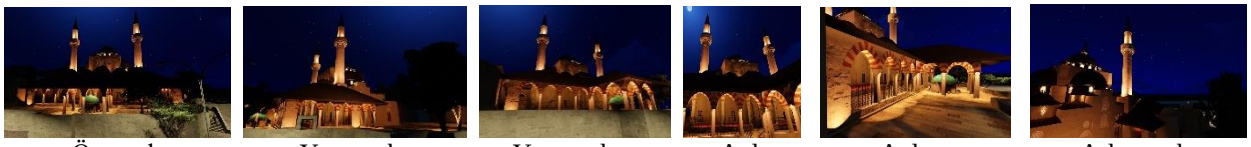
Üsküdar Mihrimah Sultan Camii mevcut cephe aydınlatması yerinde gözlem ve fotoğraflardan yararlanılarak incelenmiştir. Caminin cepheleri, minareler ve son cemaat yerindeki sütunlar duvar sıyırma tekniği ile aydınlatılmıştır. Son cemaat yerinin aydınlatması iki sütunun orta noktasına, sütun başlığı hizasına konumlandırılan aygıtlar ile yapılmıştır. Kubbeler aydınlatılmayıp kubbe duvarları aydınlatılmıştır. Caminin iki yan ve arka cephesi ile birlikte son cemaat yerini örten eğimli çatı camiden belli uzaklıktaki birkaç noktadan projektörler ile ışıklandırma tekniği

uyarınca aydınlatılmıştır. Kullanılan LED lambaların renk sıcaklığı yaklaşık 1800 K olarak değerlendirilmiştir. Caminin modelinin Lumion programında aydınlatılmasında aydınlatma aygıtları mevcut aydınlatma düzenindeki konumlarına uygun olarak yerleştirilmiştir. Programın kütüphanesinden ışık kaynağı seçiminde yüzeylerdeki ışıklılık dağılımı dikkate alınmıştır. Caminin ön, yan, arka cepheleri ile avlusunun mevcut aydınlatmasını gösteren gece fotoğrafları **Şekil 6**'da, bu fotoğraflardaki görünümlere karşılık gelen Lumion görsellere **Şekil 7**'de yer verilmiştir.



Ön cephe **[11]** Yan cephe **[12]** Yan cephe **[13]** Avlu **[14]** Avlu **[15]** Arka cephe **[16]**

Şekil 6: Caminin gece mevcut durum fotoğrafları



Ön cephe Yan cephe Yan cephe Avlu Avlu Arka cephe

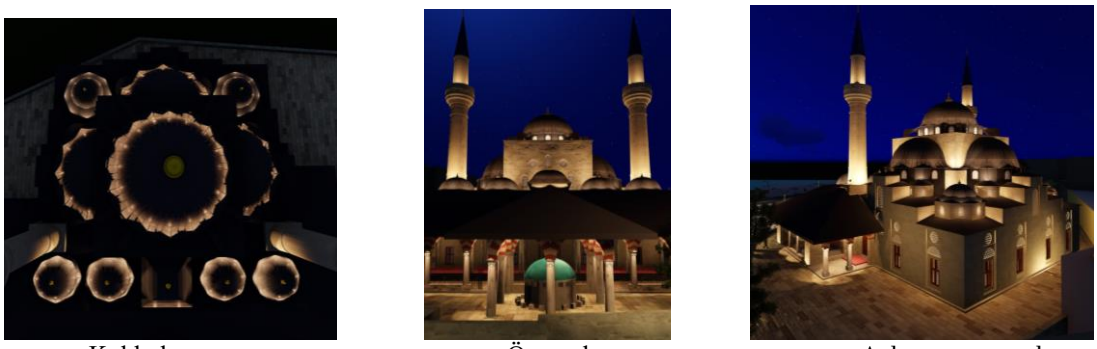
Şekil 7: Caminin Lumion modeli; gece mevcut durum görünümleri

5. CAMİ İÇİN TASARLANAN AYDINLATMA ALTERNATİFLERİ

Üsküdar Mihrimah Sultan Camii'nin iki yan cephesi mimari özellikler bakımından hemen hemen aynıdır. Bu nedenle, aydınlatma alternatifleri oluşturmak üzere ön, arka ve bir yan cephe ele alınmıştır. Alternatif aydınlatma düzenleri oluşturabilmek için, her üç cephe ile ilgili olarak yapıda aydınlatılabilecek mimari öğeler araştırılmış ve aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- Ön cephe: büyük kubbe ve büyük yarım kubbeler, büyük kubbe duvarları, orta kare mekan duvarı, küçük kubbeler, kare planlı küçük kubbe ve duvarı, son cemaat yeri, son cemaat yeri çatısı, sütunlar, minareler.
- Arka ve yan cephe: büyük kubbe ve büyük yarım kubbeler, büyük kubbe duvarları, orta kare mekan duvarı, sekizgen planlı küçük kubbe ve duvarı, küçük kubbe duvarları, düşey cephe katmanları, minareler.

Belirtilen mimari öğelerin aydınlatılmasında duvar sıyırma ve ışıklandırma teknikleri uygulanmıştır. Büyük kubbe ve büyük yarım kubbeler, büyük kubbe duvarları, küçük kubbeler, orta kare mekan duvarı, sütunlar, minareler, kare planlı küçük kubbe ve duvarı, düşey cephe katmanları, sekizgen planlı küçük kubbe duvar sıyırma tekniği; sekizgen planlı küçük kubbe duvarı, küçük kubbe duvarları, son cemaat yeri çatısı ise ışıklandırma tekniği uyarınca aydınlatılmıştır. Son cemaat yeri, çatısı altından dolaysız olarak aydınlatılmıştır. Caminin zemine yakın olan ve üzerinde dikdörtgen, daire, yarım daire biçimli pencelerin yer aldığı arka ve yan cephedeki düz duvarları, yakın çevrede konumlandırılmış aygıtlar ile ışıklandırma tekniğine uygun aydınlatılmıştır. Mevcut durumda olduğu gibi, geliştirilen aydınlatma alternatiflerinde de lamba türü olarak LED lambaların kullanıldığı düşünülmüştür **(Şekil 8).**



Kubbeler Ön cephe Arka ve yan cephe

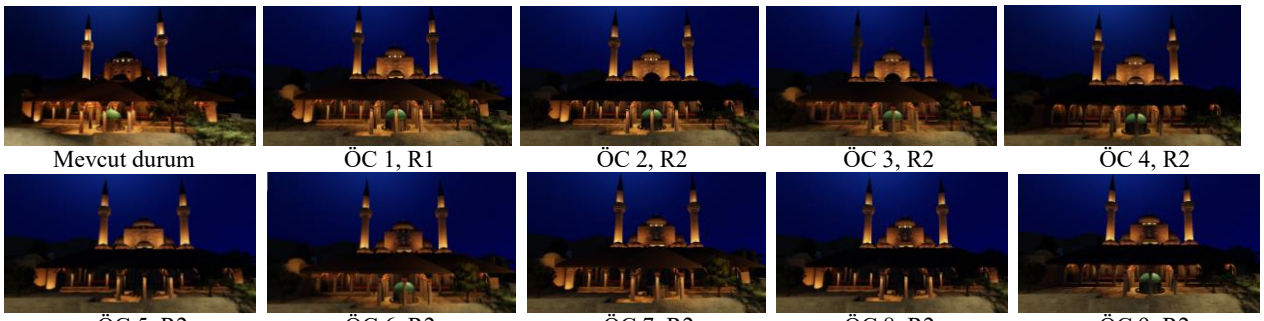
Şekil 8: Üsküdar Mihrimah Sultan Camii için önerilen aydınlatma düzeni

Caminin mimari özellikleri ve aydınlatma aygıtlarının yerleştirilebileceği noktalara bağlı olarak her mimari öğe için yalnızca bir aydınlatma tekniğine göre aydınlatma önerisi geliştirilebilmiştir. Aydınlatma alternatifleri, ilk aşamada yukarıda sıralanan mimari öğelerin tümünün aydınlatılması durumu ve bu öğelerden kimilerinin aydınlatılması durumları ile oluşturulmuştur. Bir başka deyişle, aydınlatılan öğelerin çeşitli birleşimleri ile farklı alternatifler yaratılmıştır (ön cephe için 9, arka ve yan cephe için 5 alternatif) (**Çizelge 1-2**). İkinci aşamada, ilk aşamada elde edilen tüm alternatifler için, 1800 K, 3000 K, 4000 K ve yeşil renkli ışık (Y) olmak üzere farklı ışık renkleri kullanılmıştır. Bunlara ek olarak, '3000 K+1800 K' ve '4000 K+yeşil ışık' olmak üzere iki farklı ışık renginin kullanıldığı alternatifler de oluşturulmuştur. Yukarıda belirtilen mimari öğelerden kimilerinin caminin mimarisin eksiksiz algılanabilmesi açısından tüm aydınlatma alternatiflerinde (ön cephe için 64, arka ve yan cephe için 30 alternatif) aydınlatılması gerekmiştir. Bu öğeler ön cephe için büyük kubbe ve büyük yarım kubbeler, küçük kubbeler; arka ve yan cephe için büyük kubbe ve büyük yarım kubbeler, sekizgen planlı küçük kubbe ve duvarı, küçük kubbe duvarları, arka ve yan cephedeki pencereli düz duvarlar olarak saptanmıştır. Aydınlatma alternatifleri, 'ön cephe (ÖC)' ve 'arka cephe ile yan cephenin birleştiği köşeden alınan perspektif (AYC)'olmak üzere iki ayrı görsel aracılığı ile sunulmuştur. Aydınlatma ve ışık rengi alternatifleri ön cephe için **Çizelge 1**'de, arka ve yan cephe için **Çizelge 2**'de toplu olarak verilmiştir.

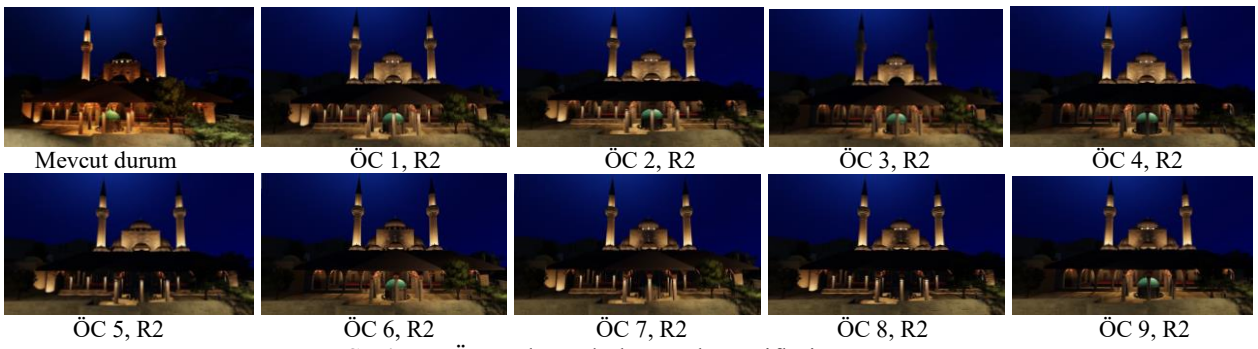
Çizelge 1: Ön cephe için aydınlatma ve ışık rengi alternatifleri

Mimari öğe	Aydınlatma alternatifleri									Işık rengi alternatifleri (K)							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
Büyük kubbe duvarları	X	X	X	X	-	-	X	X	X	1800	3000	4000	Y	3000	3000	4000	4000
Orta kare mekan duvarı	X	X	X	X	X	-	-	-	-	1800	3000	4000	Y	1800	3000	Y	4000
Kare pl.küç. kubbe ve dv.	X	-	-	X	X	X	X	X	X	1800	3000	4000	Y	3000	3000	4000	4000
Son cemaat yeri	X	X	X	X	-	X	-	-	X	1800	3000	4000	Y	3000	3000	4000	4000
Son cemaat yeri çatısı	X	-	X	-	-	X	X	-	-	1800	3000	4000	Y	3000	3000	4000	4000
Sütunlar	X	X	-	-	X	-	X	X	-	1800	3000	4000	Y	3000	3000	4000	4000
Minareler	X	X	-	X	X	X	X	X	X	1800	3000	4000	Y	3000	3000	4000	4000
Büyük kubbeler	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1800	3000	4000	Y	3000	1800	4000	Y
Küçük kubbeler	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1800	3000	4000	Y	1800	1800	Y	Y

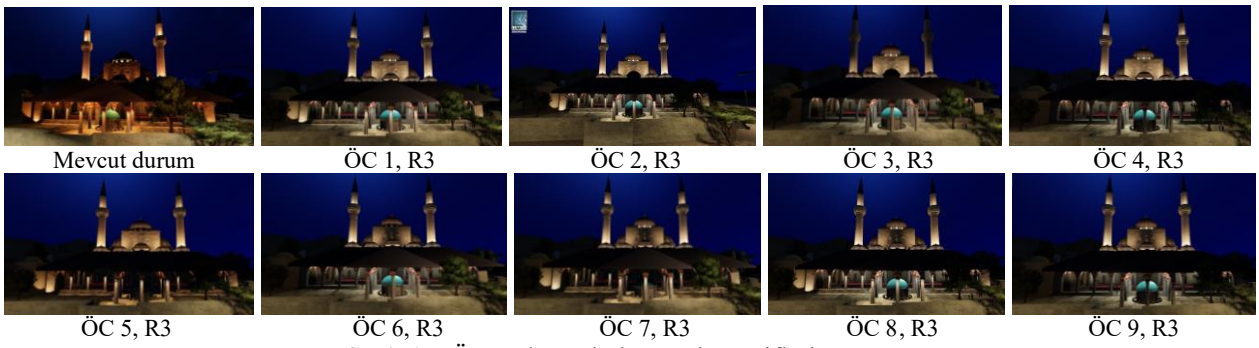
Bu tablolarda her aydınlatma alternatifi için hangi mimari öğelerin aydınlatılmış olduğu (X) ve her farklı ışık renginin hangi mimari öğelere uygulandığı belirtilmiştir. R5 ve R7 numaralı ışık rengi alternatifleri, ön cephe için yalnızca 1-5 numaralı aydınlatma alternatiflerine uygulanabilmiş, arka ve yan cephe için ise hiçbir alternatife uygulanamamıştır. Bunun nedeni, vurgulanan öğelerin arka ve yan cephede görme alanı içine girmemesidir. Aydınlatma alternatifleri ön cephe için **Şekil 9-16**'da, arka ve yan cephe için **Şekil 17-22**'de sunulmuştur.



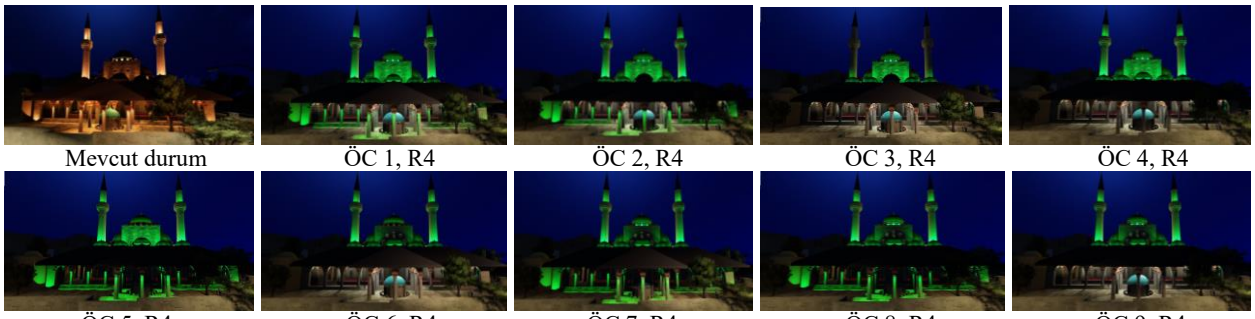
Şekil 9: Ön cephe aydınlatma alternatifleri - 1800 K



Şekil 10: Ön cephe aydınlatma alternatifleri - 3000 K



Şekil 11: Ön cephe aydınlatma alternatifleri - 4000 K



Mevcut durum ÖC 1, R4 ÖC 2, R4 ÖC 3, R4 ÖC 4, R4

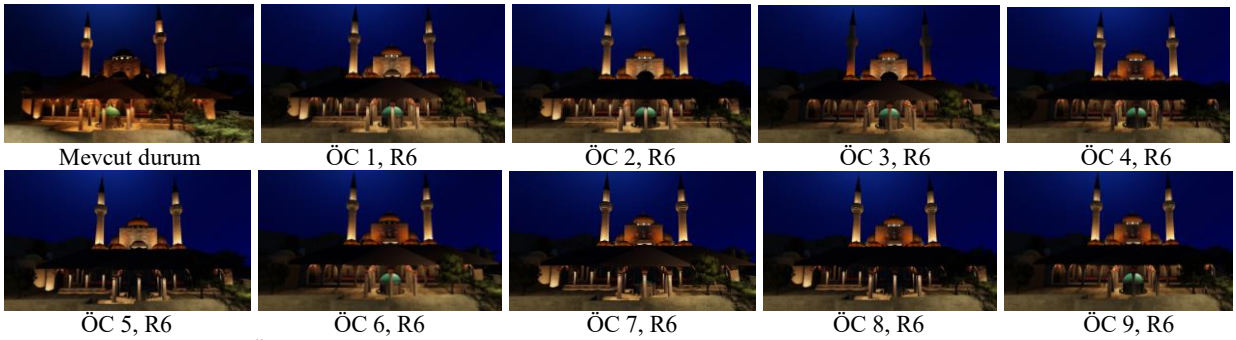
ÖC 5, R4 ÖC 6, R4 ÖC 7, R4 ÖC 8, R4 ÖC 9, R4

Şekil 12: Üsküdar Mihrimah Sultan Camii ön cephe aydınlatma alternatifleri – Yeşil ışık



ÖC1, R5 ÖC 2, R5 ÖC 3, R5 ÖC 4, R5 ÖC 5, R5

Şekil 13: Ön cephe aydınlatma alternatifleri - 3000 K + 1800 K (Orta kare mekan duvarı, küçük kubbeler)



Mevcut durum ÖC 1, R6 ÖC 2, R6 ÖC 3, R6 ÖC 4, R6

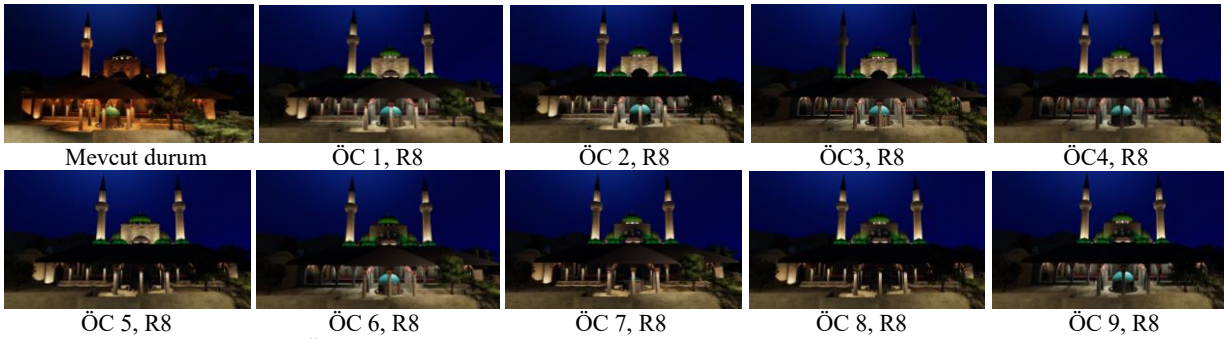
ÖC 5, R6 ÖC 6, R6 ÖC 7, R6 ÖC 8, R6 ÖC 9, R6

Şekil 14: Ön cephe aydınlatma alternatifleri - 3000 K + 1800 K (büyük ve küçük kubbeler)



ÖC 1, R7 ÖC 2, R7 ÖC 3, R7 ÖC 4, R7 ÖC 5, R7

Şekil 15: Ön cephe aydınlatma alternatifleri - 4000 K + Yeşil ışık (Orta kare mekan duvarı, küçük kubbeler)



Mevcut durum ÖC 1, R8 ÖC 2, R8 ÖC3, R8 ÖC4, R8

ÖC 5, R8 ÖC 6, R8 ÖC 7, R8 ÖC 8, R8 ÖC 9, R8

Şekil 16: Ön cephe aydınlatma alternatifleri - 4000 K (büyük ve küçük kubbeler)

Çizelge 2: Arka ve yan cephe için aydınlatma ve ışık rengi alternatifleri

Mimari öğe	Aydınlatma alternatifleri					Işık rengi alternatifleri (K)							
	1	2	3	4	5	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
Büyük kubbe duvarları	X	-	X	-	-	1800	3000	4000	Y	-	3000	-	4000
Orta kare mekan duvarı	X	-	X	X	X	1800	3000	4000	Y	-	3000	-	4000
Düşey cephe katmanları	X	X	-	-	X	1800	3000	4000	Y	-	3000	-	4000
Minareler	X	X	-	X	X	1800	3000	4000	Y	-	1800	-	Y
Büyük kubbeler	X	X	X	X	X	1800	3000	4000	Y	-	1800	-	Y
Küçük kubbeler	X	X	X	X	X	1800	3000	4000	Y	-	1800	-	Y



Mevcut durum AYC 1, R1 AYC 2, R1 AYC 3, R1 AYC 4, R1 AYC 5, R1

Şekil 17: Arka ve yan cephe aydınlatma alternatifleri - 1800 K



Mevcut durum AYC 1, R2 AYC 2, R2 AYC 3, R2 AYC 4, R2 AYC 5, R2

Şekil 18: Arka ve yan cephe aydınlatma alternatifleri - 3000 K



Mevcut durum AYC 1, R3 AYC 2, R3 AYC 3, R3 AYC 4, R3 AYC 5, R3

Şekil 19: Arka ve yan cephe aydınlatma alternatifleri - 4000 K



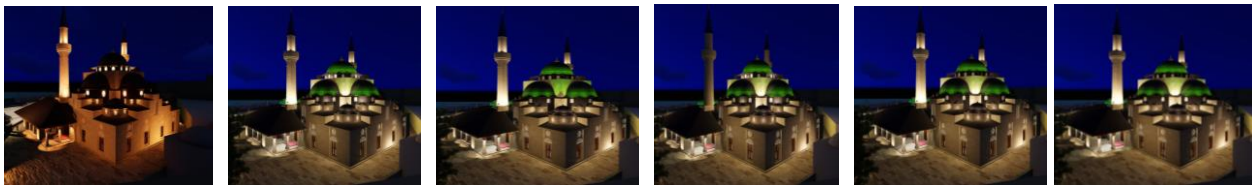
Mevcut durum AYC 1, R4 AYC 2, R4 AYC 3, R4 AYC 4, R4 AYC 5, R4

Şekil 20: Arka ve yan cephe aydınlatma alternatifleri - Yeşil ışık



Mevcut durum AYC 1, R6 AYC 2, R6 AYC 3, R6 AYC 4, R6 AYC 5, R6

Şekil 21: Arka ve yan cephe aydınlatma alternatifleri – 3000 K + 1800 K (Büyük ve küçük kubbeler)



Mevcut durum AYC 1, R8 AYC 2, R8 AYC 3, R8 AYC 4, R8 AYC 5, R8

Şekil 22: Arka ve yan cephe aydınlatma alternatifleri - 4000 K + Yeşil ışık (Büyük ve küçük kubbeler

6. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Kent aydınlatma konuları arasında yapıların aydınlatılması büyük bir yer kaplar. Bir kentin tarihini, kültürel birikimlerini ve uygarlık düzeyini yansıtan tarihi yapılar ve önemli çağdaş yapıların aydınlatılması kentin gece görünümünü olumlu etkiler. Tarihi yapılar arasında camiler büyük önem taşır ve aydınlatılarak bütün görkemi ile ortaya çıkartılan camilerin kentin kimliğini belirlemede önemi yadsınamaz. Tarihi bir cami, aydınlatmada uygulanan teknik/teknikler, kullanılan ışık rengi ve görünür kılınan mimari öğelerine bağlı olarak birbirinden oldukça farklı görünümlere kavuşturulabilir. Cami aydınlatmasında amaç, yapıyı yalnızca görünür kılarak gece de varlığının algılanması sağlamak değil, yapının mimari özelliklerinin doğru ve eksiksiz algılanması, yapıldığı dönemi yansıtması ve kent görünümüne katkıda bulunması olmalıdır.

Bu çalışmada Üsküdar Mihrimah Sultan Camii ele alınmış, caminin mevcut aydınlatma düzeni incelenmiş ve mevcut düzenden farklı aydınlatma alternatifleri oluşturulmuştur. Bunun için, öncelikle yapının dış görünümünü belirleyen ve aydınlatılabilecek mimari öğeleri saptanmıştır. Her bir mimari öğe için uygun aydınlatma tekniği, öğenin özellikleri ve aydınlatma aygıtlarının tespit edilebileceği yerler göz önüne alınarak belirlenmiştir. Söz konusu mimari öğelerin, belirlenen aydınlatma tekniği uyarınca aydınlatılması sürecinde, birbirleri üzerindeki etkileri de doğal olarak dikkate alınmıştır. Daha açık bir deyişle, bir mimari öğeyi aydınlatan ışık kaynaklarından çıkan ışığın başka öğelerin yüzeyine düşen bölümünün bu yüzeylerin aydınlanmasına yaptığı katkı tasarım sürecinde denetlenmiştir. Caminin ön cephesi için 64, arka ve yan cephesi için 30 olmak üzere toplam 94 farklı aydınlatma alternatifinin karşılaştırması ve değerlendirmesi aşağıdaki gibi yapılabilir:

- Yapıda belirlenmiş her mimari öğenin aydınlatılması durumunda caminin mimari özelliklerinin eksiksiz algılanması sağlanmaktadır.
- Caminin büyük ve küçük kubbelerinin aydınlatılması, yapının mimarisini ortaya koymak bakımından önemlidir. Mevcut durumda aydınlatılmamış olan kubbeler, bu çalışmada tasarlanan her alternatifte aydınlatılmıştır.
- Minarelerin, şerefenin altında ve üstünde kalan bölümlerinin aydınlatılması yapının mimarisini vurgulamak açısından gereklidir. ÖC 3 numaralı ön cephe aydınlatma alternatifinde minareler aydınlatılmamıştır **(Şekil 9-16).** Bu yaklaşım mimarinin eksik algılanmasına yol açmaktadır.
- Son cemaat yeri çatısının aydınlatılmadığı alternatiflerde mimari eksik algılanmaktadır.
- Gündüz soğuk renkli günışığı altındaki görünümleri doğal olarak algılanan tarihi eserlerin gece soğuk renkli ışık yerine sıcak renkli ışıkla aydınlatılması, sıcak renkli ışığın geçmiş dönemleri anımsatması nedeniyle daha çok tercih edildiği bilinmektedir. Bu çalışmada, iki ayrı sıcak renkli ışık (1800 K, 3000 K) ve bir ılık renkli ışık (4000 K) kullanılmıştır. Caminin mevcut aydınlatmasında da kullanılan 1800 K renk sıcaklığındaki ışık olumlu algılanmakla birlikte renk sıcaklığı 3000 K olan ışık ile daha doğal görünümler elde edildiği söylenebilir. 4000 K renk sıcaklığındaki ışığın etkisi de kabul edilebilir olarak değerlendirilebilir. Bununla

birlikte, kent kullanıcıları tarafından ışık rengi tercihi bakımından yapılacak bir sıralamanın 3000 K, 1800 K, 4000 K şeklinde olacağı ön görülebilir.

- Günümüzde statik ve/ya da dinamik aydınlatmada renkli ışık hemen hemen her işlevli yapının cephesinde kullanılmaktadır. Camiler için tercih edilen renkli ışık genelde yeşil olmaktadır. Bu nedenle, yeşil renkli ışığın yapının görünümüne etkisi de görselleştirilmiştir. Renkli ışık ile alışılmıştan uzak, doğal olmayan görünümler elde edildiği açıktır. Tarihi yapılar renkli ışık ile aydınlatılmamalıdır.
- Cephesi farklı renklerde ışıklar ile aydınlatılmış yapılara rastlanmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada iki ayrı renkteki ışığın kullanıldığı alternatiflere de yer verilmiştir. Bu bağlamda, cepheler ağırlıklı olarak 3000 K renk sıcaklığındaki ışık ile aydınlatılmış, cephedeki bazı mimari öğeler renk sıcaklığı 1800 K olan ışık rengi ile vurgulanmıştır. Bir başka iki renk çifti 4000 K ve yeşil renkli ışık olarak seçilmiştir. Burada da bir önceki örneğe benzer biçimde cepheler büyük oranda ılık renkli ışık ile aydınlatılmış, bazı mimari öğeler yeşil renkli ışık ile ön plana çıkartılmıştır. İki sıcak renkli ışığın kullanıldığı alternatifler, daha sıcak renkli olanın küçük yüzeylerde kullanılması koşulunda başarılı olarak değerlendirilebilir. Buna karşılık, renkli ışığın uygulandığı alternatiflerin olumlu olarak değerlendirilmesi güçtür.

Yukarıda ön değerlendirmesi yapılan aydınlatma alternatifleri bir anket çalışması ile daha kapsamlı olarak değerlendirilecektir.

KAYNAKLAR

1. CIE 94. “Technical Report, Guide for Floodlighting”, 1993.

2. Philips. “LED Lighting Explained”, 2010.

3. Url-1 <https://tr.wikipedia.org/wiki/Mihrimah_Sultan_K%C3%BClliyesi_(%C3%9Csk%C3%BCdar)>, erişim tarihi: 02.05.2018

4. A. Kuran, “Üsküdar’da Mihrimah Sultan Külliyesi”, *Boğaziçi Üniversitesi Dergisi*, 3, (1975), pp: 43.

5. A. Kuran, “Üsküdar’da Mihrimah Sultan Külliyesi”, *Boğaziçi Üniversitesi Dergisi*, 3, (1975), pp: 44-45.

6. Url-2 <http://www.manahaber.com/detail.asp?id=8539>, erişim tarihi: 02.05.2018

7. Url-3 <https://plus.google.com/photos/photo/117226563003461408788/6234442721204714210>, erişim tarihi: 02.05.2018

8. Url-4 <https://plus.google.com/photos/photo/100242304894332884032/6452039740990361922>, erişim tarihi: 02.05.2018

9. Url-5 <https://plus.google.com/photos/photo/100108375245014134074/6357194609590754626>, erişim tarihi: 02.05.2018

10. Url-6 <http://www.russianistanbul.com/hurrem-sultan/mechet-mixrimax-sultan-v-uskyudare>, erişim tarihi: 02.05.2018

11. Url 7<https://www.google.com.tr/maps/contrib/112375364611435675420/photos/@41.026834,29.0159845,3a, 75y,90t/data=!3m8!1e2!3m6!1sAF1QipP1X0b2_mmxHEDVsxZ6kXQCBXPt5c30lMYV>, erişim tarihi:02.05.2018

12. Url 8<https://www.google.com.tr/search?q=%C3%BCsk%C3%BCdar+mihrimah+sultan+gece&source=lnms &tbm = is ch&sa=X&ved=0ahUKEwj2jY2L7eHZAhXLBSwKHWD1AZkQ >, erişim tarihi: 02.05.2018

13. Url-9 <https://plus.google.com/photos/photo/107466669638168220999/6339891268308581554>, erişim tarihi: 02.05.2018

14. Url-10 <https://plus.google.com/photos/photo/109427313467464993018/6384831050449131810>, erişim tarihi: 02.05.2018

15. Url-11 < https://www.google.com.tr/search?q=%C3%BCsk%C3%BCdar+mihrimah+sultan+gece&source= lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj2jY2L7eHZAhXLBSwKHWD1AZkQ >, erişim tarihi: 02.05.2018

16. Url-12 < https://www.google.com.tr/maps/contrib/104314228692558990106/photos/@41.026834,29.0159845, 3a,75y,90t /data=!3m8!1e2!3m6!1sAF1QipOubd_--JGlK4hgXX4_ISIKQuXPWxiRBuC>, erişim tarihi: 02.05.2018

3.Ulusal
Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi

10-11 Mayıs 2018
İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul

DAHA İYİ BİR ÖĞRENME ORTAMI İÇİN "AYDINLATMA"

Ebru Özlü[a]
ALD Aydınlatma Proje ve Danışmanlık
Sancaktepe, İstanbul, 34785

ÖZET

Yaşamın döngüsünün devamı ve insanın günlük gereksinimlerini yerine getirebilmesi için ışığa gerek duyulur. Günışığının yetmediği zamanlarda insanların görsel ihtiyaçlarını yerine getirebilmesi için yapay aydınlatma sistemlerinin tasarlanması gerekir. Işık sadece görmemizi sağlamaz aynı zamanda sağlığımız, biyolojik ritmimiz, ruh halimiz, iyi hissetmemiz ve performansımız üzerinde de etkilidir.

Bu bildiride ışık ve insan ilişkisine yer verilmiş, ışığın sağlık, sirkadiyen ritim ve performans üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu bilgiler ile daha iyi öğrenme ortamlarının yaratılabileceği açıklanmaya çalışılmıştır. Bir öğrenme ortamında, iyi aydınlatma öğrencilerin bilgiyi edinmesinde önemli bir rol oynar. Doğru ışık verimli bir öğrenme için mükemmel bir çevre yaratır. Öğrenciler bu sayede daha motive ve daha dikkatli olur. Zayıf ışık ise hızla yorgunluğa neden olur.

Gün ışığının kullanımı ve aydınlatma kontrol sistemleri her yaş grubundaki öğrencilere birçok avantaj sunar. Aydınlatma kontrolü veya dinamik aydınlatma sistemleri ile sirkadiyen ritim desteklenebilir, derslerin ihtiyaçlarına göre farklı ışık senaryoları yaratılabilir.

Anahtar sözcükler: Işık, İnsan sağlığı, Sirkadiyen ritim, Enerji verimliliği, Dinamik aydınlatma

ABSTRACT

The light is required for the cycle of life and to perform people's daily needs. When natural light is not enough in a space, artificial lighting systems should be designed for people's visual activities. Light not only enables people to see; it also affects on our health, biological rhythm, mood, sense of wellbeing and performance.

In this study, the relation between light and human are featured and the effects of light on health, circadian rhythm and performance are examined. It has been tried to explain that this information can be used to create better learning environments. In a learning environment, good lighting plays a major role in absorption of information by students. The right light creates a perfect environment for effective learning. Thus, students are more motivated and more attentive. Poor light quickly gives rise to fatigue.

Daylight utilisation and lighting management offer many advantages for students of all age groups. Lighting control or dynamic lighting systems can support circadian rhythm, different light scenarios can be created according to the needs of the lessons.

Key words: Light, Health, Circadian rhythm , Energy efficient, Dynamic lighting, Sustainable buildings

[a] e-posta adresi: ebru.ozlu@aldaydinlatma.com

1.GİRİŞ

Gün boyunca en temel ışık kaynağı olan gün ışığı ile aydınlatılan binalarda verimli ve konforlu bir ortamın sağlanması esastır. Eğitim yapıları da söz konusu binalardandır. Eğitim yapılarında gerçekleşen en temel eylem olan "öğrenme" nin gün ışığı ile doğrudan ilişkili olduğu ve gün ışığının öğrencilerin bilgiyi akılda tutmalarında yardımcı olduğu bilinmektedir. Başarılı ve verimli bir eğitim için doğru aydınlatmanın önemi göz ardı edilemez. Bu alanlarda doğal gün ışığı ile yapay aydınlatma arasındaki denge projenin başarısı açısından kritik öneme sahiptir. Eğitim yapılarında aydınlatmanın en önem taşıdığı alan şüphesiz sınıflardır. Sıralar düzleminde homojen ve kamaşma yaratmayan, laboratuvar ortamında kullanılan monitör ve tahta yüzeylerindeki yansımanın minimum seviyelerde olduğu, yatay aydınlatmanın yanı sıra düşey düzlemdeki aydınlık düzeylerinin de dikkate alındığı bir tasarıma aydınlatma kontrol sistemlerinin entegre edilmesi ile sürdürülebilir bir yapı oluşturmak mümkündür. Doğru aydınlatma ile enerji tasarrufunun sağlandığı, CO_2 salınımının minimumda olduğu yapılar oluşturmanın yanı sıra özellikle eğitim yapılarında öğrencilerin görsel ve ruhsal performansının iyileştirilmesi, öğrenme performansının yüksek tutulması, motivasyonun ve çalışma üretkenliğinin arttırılması, daha az hiperaktivite ve daha konsantre olmaları sağlanabilir.

2. IŞIK VE İNSAN İLİŞKİSİ

Işık görme olayını sağlayan fiziksel bir büyüklük olmanın yanı sıra insan sağlığı üzerinde önemli etkileri olan bir bileşendir. Işığın sağlık, iyi ve güvende hissetme, biyoritim ve performans üzerindeki etkilerinin bilinmesi ile sadece fizyolojik değil aynı zamanda psikolojik yönden de gereksinimleri karşılayan aydınlatma sistemleri tasarlanabilir.

2.1. Işığın İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri

Işık yalnızca görmemizi sağlamakla kalmaz, kendimizi iyi hissedip hissetmememizi yani ruh halimizi de etkiler. Işığın seviyesi, rengi, gölge etkisi ya da aydınlık ile karanlık arasındaki geçişler o anki algılamayı etkiler ve insanın yaşam ritmini belirler [**1**].

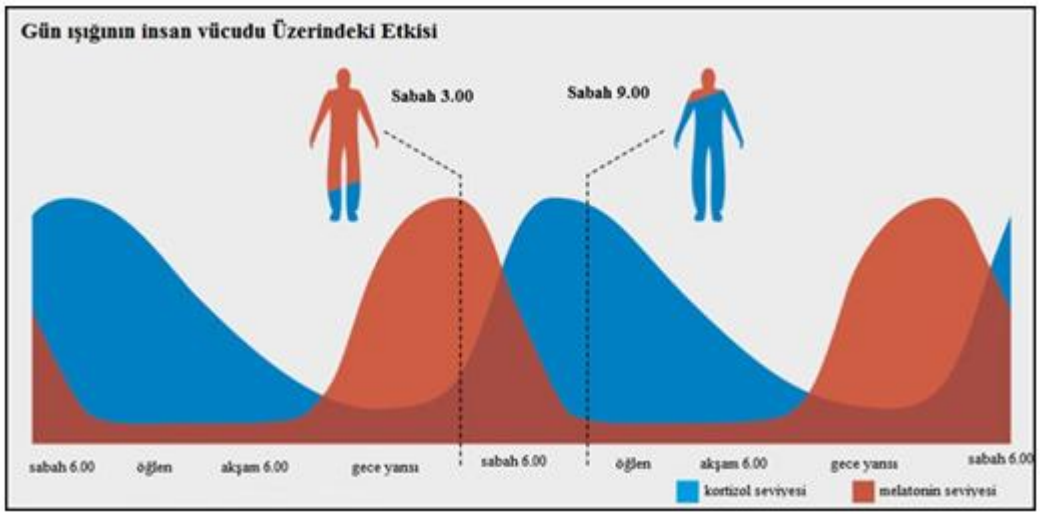
Bazı önemli hormonların düzenlenmesinin ve biyolojik saatin kontrolünün, düzenli bir aydınlık-karanlık döngüsü ile bağlantılı olduğu çok önemli bulgularla desteklenmektedir. Bu durum aydınlatmanın sağlık, iyi hissetme ve zindelik üzerinde büyük bir etkisi olduğu anlamına gelir [**2**].

Günlük döngünün yanı sıra mevsimsel değişimler de insan sağlığı ve psikolojisini etkilemekte, yetersiz gün ışığı hormon sisteminde düzensizliklere neden olmaktadır. Işık alan mekânların kullanıcıları kendilerini daha iyi hisseder, üretkenlikleri ve mekân memnuniyetleri artar.

2.2. Işığın Sirkadiyen Ritim Üzerindeki Etkileri

Işık, vücudun iç saatini 24 saat süre boyunca düzenlemekten sorumlu sirkadiyen ritmi kontrol eder. Sirkadiyen ritim düzenli olarak kendini tekrar eden biyolojik olaylardır. Eğer iç ritim ile günlük ritim birbiri ile eşleşmiyorsa, insanlar kendilerini yorgun, uykulu ve dalgın hissedebilir. [**3**].

Sabah kortizol seviyesi artar, vücudu ve zihni gelen günün aktivitelerine hazırlar (**Şekil 1**). Aynı zamanda melatonin seviyesi düşer ve uykulu olma hali azalır. Kortizol vücuda enerji vererek kan şekerini artırır ve bağışıklık sistemini güçlendirir. İyi bir sağlık için bu ritmin çok fazla kesintiye uğramaması gerekir. Bu ritmin bozulması halinde sabahın parlak ışığı normal ritmine dönmesine yardımcı olacaktır [**4**].



Şekil 1: Gün ışığı ile kortizol ve melatonin seviyelerindeki değişim [**5**].

2.3. Işığın Performans Üzerindeki Etkileri

Işığın kalitesi insanın yaptığı aktivitelerde performansı direkt etkileyen bir faktördür. Özellikle performans beklenen ortamlarda (eğitim yapıları, üretim tesisleri, ofis vs.) doğru ışık, ışık rengi, ışığın geliş açısı ve ışık şiddeti gibi konular, tasarımı yaparken referans olarak alınacak önemli konulardır. Uzun süre vakit geçirilen ortamlarda kullanıcıyı rahatsız etmeyecek, hatta psikolojik olarak rahatlatıcı bir aydınlatma, performansı doğrudan üst seviyelere çıkarabilir [**6**].

Çalışma ortamının yeterince aydınlatılması ile işin kolaylıkla yapılması ve verimlilik arasında yakın bir ilişki vardır. Yapılan araştırmalar aydınlık düzeyinin arttırılmasına paralel olarak üretimin %8-27 yükseldiğini ortaya koymaktadır. Kötü aydınlatma ise sıkıntılı bir çalışma ortamı yaratmakta; göz sinirlerini yıpratmakta, zayıflatmakta ve geçici ya da daimî körlüklere neden olabilmektedir [**7**].

Işık, öğrenmede görsel algılamanın anahtarı olarak önemli bir faktördür ve beynimizdeki duyusal mesajların çoğunun da kaynağıdır. İyi bir aydınlatma ortamında daha fazla bilgi elde edilir, işlenir ve öğrenilenler depolanır. Doğru aydınlatma etkili öğrenme, öğrencileri motive etme ve daha uzun süre konsantre olmalarını sağlayan optimum koşulları sağlar [**8**].

2.4. Işığın Sürdürülebilir Mekanlar Oluşturmada Etkisi

Sürdürülebilir aydınlatma çözümü bir mimari yapı için oldukça önemlidir. Mimariye uygun gerçekleştirilen aydınlatma çözümleri yapı için hem çevresel hem de ekonomik olarak büyük

faydalar sağlar. "**Sürdürülebilirlik**" bir aydınlatma ile hem enerji tüketimi azalır hem de mekânın aydınlatması yaşam kalitesini de olumlu yönde etkiler.

Sürdürülebilir mekanlar yaratmak için öncelikle mekâna uygun, enerji tasarruflu ve efektif ışık kaynağının seçilmesi ilk adım olmalıdır. Işık kaynağının seçiminden sonra amaca uygun armatürün seçilmesi gereklidir. Akıllı aydınlatma çözümleri mekanların doğal ışıktan olabildiğince faydalanmasını sağlamaktadır. Böylelikle işletme maliyetlerinin minimum olduğu yapılar oluşturmak mümkün olacaktır.

3. EĞİTİM YAPILARI İÇİN DOĞRU AYDINLATMA

Günümüz toplumunda çocuklar birçok uyarana (internet, oyun, spor, cep telefonu, MSN, SMS, Televizyon vb.) sahip bir dünyada büyümekteler. Bu uyaranlar, öğretmenlerin çocuklardan en iyi performansı alabilmelerini engellemektedir. Doğru aydınlatma okullardaki öğrenim ortamını şekillendirebilir, böylece çocuklar daha uzun süre konsantre olabilir ve öğretmen dersleri daha etkili şekilde öğretebilir.

Okullardaki öğrenme ve sağlık koşullarının, geliştirilmesi gereken bir ihtiyaç olduğu bilincinin artması gerekmektedir. Hava kalitesi, zemin ve duvarlar için sınıflarda kullanılan renkler, ergonomik mobilyalar, dijital okul panoları, aydınlatma vb. konular ayrı ayrı ele alınmalıdır. Yapılan araştırmalar, çocukların doğru ışık türüne olumlu şekilde tepki verdiğini göstermektedir.

Doğal gün ışığı ile yapay aydınlatma arasındaki denge tasarımın başarısı açısından kritik öneme sahiptir. Çoğunlukla öğrencilerin zamanlarını geçirdikleri alan olması itibari ile aydınlatma etkisinin en fazla hissedildiği ortam sınıflardır.

Aydınlatma ile konsantrasyona yardımcı olarak çocukların uyanık kalmasını ve öğrenme sürecinin daha keyifli bir hale gelmesi sağlanarak çocukların okulda daha verimli zaman geçirmelerine yardımcı olunabilir.

Kamaşma etkisi minimum olan armatürler ve seçilecek lambanın renksel geri verim indeksi görsel konforu birebir etkilemektedir. Bu sebeple doğru mekanlar için doğru ürünlerin seçimi yapılmalıdır (**Şekil 2**).

Genel aydınlatmayı düzgün yayılmış bir aydınlık ile çözmek ilk amaç olmalıdır. Sınıflardaki tahta yüzeyinde, çocukların etkinliklerinin sergilendiği sergi ünitelerinde veya kütüphanedeki raf yüzeylerinde dikey düzlem aydınlık düzeyleri dikkate alınmalıdır.

Gerçekleştirilen çalışmaların Uluslararası Standartlara uygunluğu ve sonuçların sayısal verilere dayanıyor olması ise bir diğer önemli kriterdir (**Şekil 2**).

Yapı mimari açıdan incelenmeli, pencerelerin konumu, dersliklerin cephesi, seçilen malzemenin geçirgenliği, duvar ile zeminin yüzey yansıtıcılığı ve mekânın ne kadar gün ışığı aldığı iyi analiz edilmelidir. Gün ışığı analizi yüzeye düşen ışık miktarını bulmaya yarar. Bir mekânda belirlenen işleve göre gereken ışığın karşılanıp karşılanmadığı görülür. İstenen aydınlık seviyesinin ne kadarının gün ışığından sağlandığı tespit edilir.



Şekil 2: Eğitim yapılarında doğru aydınlatma.

Günümüz aydınlatma sistemlerinde enerji verimliliği, estetik ve kontrol edilebilirlik gibi özellikler önem taşımaktadır. Mahaller içerisindeki aydınlatma ünitelerinin kontrolünü daha basit bir hale getirmek, dekorasyonu tamamlayacak ışık efektleri elde etmek, en yüksek seviyede enerji tasarrufu sağlamak, aydınlatmayı en efektif şekilde kullanabilmek ve gün ışığından en iyi şekilde faydalanabilmek amacı ile aydınlatma kontrol sistemleri kullanılmaktadır. Aydınlatma kontrol sistemlerinde kullanılan dimmer üniteleri sayesinde, aydınlatmanın kısıldığı oranda enerjiden tasarruf etmek ve ışık kaynaklarının ömrünü uzatmak mümkündür.

4. AZERBAYCAN MODERN TAHSİL KOMPLEKSİ (MTK) PROJESİ

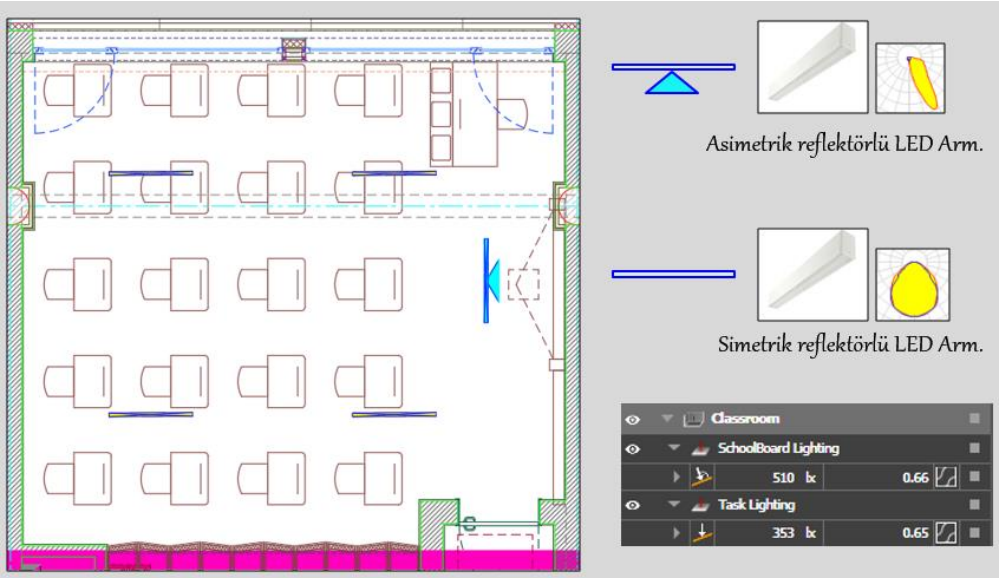
Mimari ve iç mimari tasarımı Erginoğlu&Çalışlar Mimarlık tarafından gerçekleştirilen Azerbaycan Modern Tahsil Kompleksi okul öncesinde liseye kadar eğitim veren yaklaşık 13.000 m² kapalı alana sahiptir. Kompleks içesindeki yapılar yaş grupları ve ihtiyaçlarına göre birbirinden bağımsız olarak tasarlanmıştır (**Şekil 3**). Sınıfların yanı sıra kapalı otopark, çok amaçlı salon, açık ve kapalı spor salonları, kapalı yüzme havuzu, konferans salonu, sergi alanı gibi ek işlevlere de sahip olan eğitim kompleksi "Daha İyi Bir Öğrenme Ortamı için Aydınlatma" düşüncesiyle ele alınmış ve tasarımlar bu doğrultuda gerçekleştirilmiştir. Aydınlatma tasarımı gerçekleştirilirken farklı yapılardaki ve yaş grubundaki çocukların ihtiyaçları göz önünde bulundurulmuştur. Örneğin okul öncesi yaş grubunun aydınlatma ürünleri teknik özelliklerinin yanı sıra fiziksel olarak daha dinamik, daha renkli ve daha ilgi çekici seçilirken, ortaöğretim ve lise yaş grubundaki çocukların kullanacağı yapılarda daha işlevsel ve amaca yönelik ürünler seçilmiştir.

Eğitim kurumlarında aydınlatmanın en önem taşıdığı alan şüphesiz sınıflardır. Bu sebeple bildiride sınıf aydınlatma örneğini ele aldık. Yapı mimari açıdan çok iyi ele alınmış, geniş pencerelere yer verilmiş, derslikler güney cepheye konumlandırılmıştı. Bunun yanı sıra malzeme geçirgenliği ve duvar ile zeminin yüzey yansıtıcılığı mimari disiplin tarafından çok iyi kurgulanmıştı.

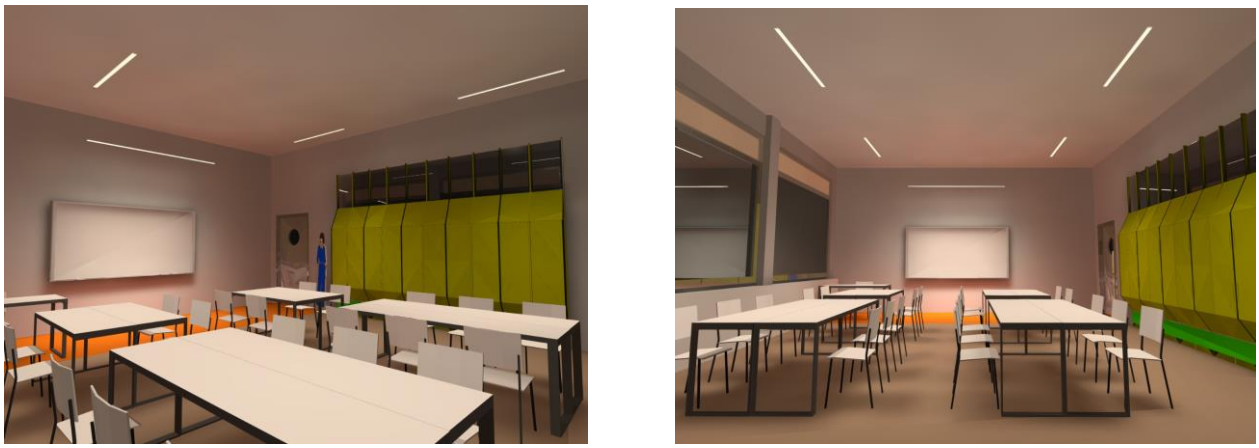


Şekil 3: Azerbaycan modern tahsil kompleksi.

Çalışmalara başlarken; öncelikle ihtiyaçları göz önünde bulundurarak ilgili standartları belirledik. İç mekân aydınlatmaları için EN 12464-1 (European Standard), iç ve dış mekân spor alanları için GAISF (General Association of International Sports Federations) hesaplarımızı yaparken dikkate aldığımız standartlardır. İlk aşamada yatay ve düşey düzlemdeki olması gereken aydınlatma düzeyi için ışık kaynağı, armatür seçimi ve yerleşimi gerçekleştirildi. Yazı tahtası yüzeyinde 500lx, sıralar üzerinde ise 300lx ortalama aydınlık düzeyi hedeflenmiştir. Homojen bir eylem aydınlatması için simetrik reflektörlü, LED ışık kaynaklı armatürler tercih edilirken, vurgu amaçlı ele aldığımız tahta yüzeyinin aydınlatması için asimetrik reflektörlü, LED ışık kaynaklı ürünler seçilmiştir (**Şekil 4-5**).

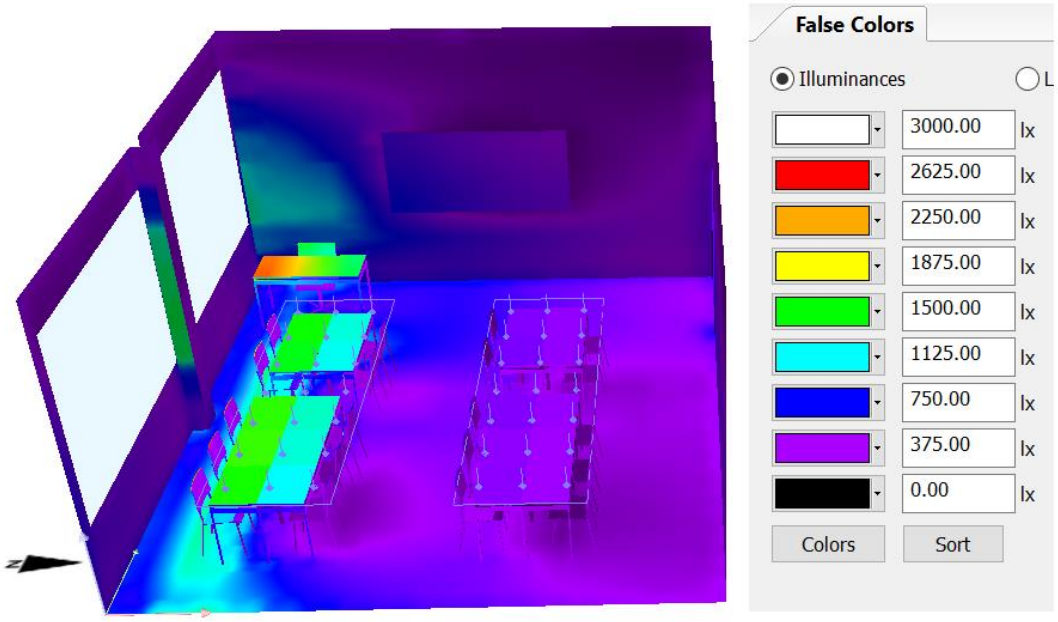


Şekil 4: Armatür yerleşimleri ve hesap sonucu.



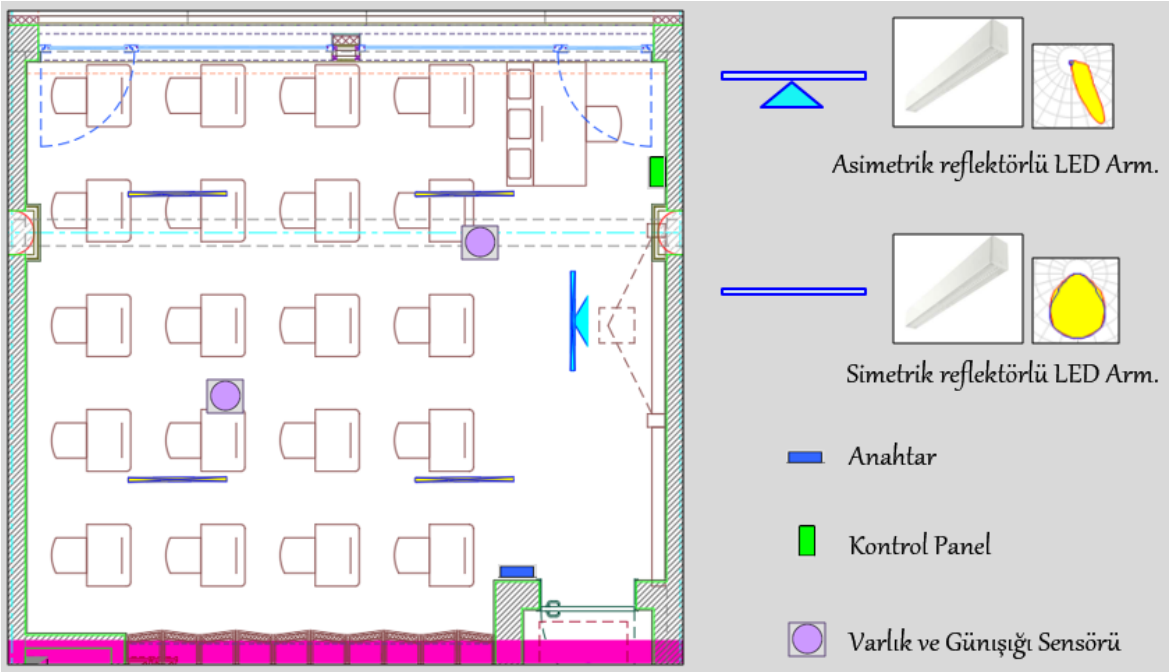
Şekil 5: Armatür yerleşimleri.

Aydınlatma hesaplarını gerçekleştirmek için kullandığımız Dialux evo programı bizlere gün ışığı analizlerini gerçekleştirme şansını da vermektedir. **Şekil 6** da bir örneği görüldüğü gibi armatürler kapalı sadece gün ışığı varken, analizler farklı tarih, saat ve gökyüzü tipine göre dersliğin gün ışığından ne kadar faydalandığını görmek için tekrarlanarak, sonuçlar bir rapor halinde proje ilgililerine sunuldu ve aydınlatma kontrolüne ihtiyaç duyulduğuna dair raporlama yapıldı. 24 Nisan, saat 16.00, orta gökyüzü gün ışığı analizine göre pencere kenarlarındaki sıralarda ortalama 1300lux, duvar kenarlarındakinde 400lux elde edilmiştir. 300lux ortalama aydınlık seviyesi hedefi gün ışığı ile sağlanmakta olup, ilerleyen saatlerde otomasyona bağlı gün ışığı sensörleri ile armatürler ortalamada hep 300lux sağlayacak şekilde pencereye yakınlıklarına göre farklı kademelerde dim edilecektir.



Şekil 6: 24 Nisan saat:16.00 ve orta gökyüzü için gün ışığı analizi.

Analizin ardından sürdürülebilir bir eğitim yapısı oluşturmak, işletme maliyetlerini de minimumda tutabilmek için iki alternatifli aydınlatma kontrol sistemleri kullanılması önerilmiştir. İlk alternatif olarak, gün ışığından en iyi şekilde faydalanabilmek amacı ile gün ışığı sensörü ve kontrol panelinden oluşan bir sistem önerilmiştir (**Şekil 7**).



Şekil 7: Armatür yerleşimleri ve kontrol sistemi.

Doğal ışıktan gelen katkılar dikkate alınıp, sınıftaki ortalama aydınlık düzeyini 300lux değerine sabitleyecek ve içerisinde farklı senaryoları da barındıran bir aydınlatma kontrolü hedeflenmiştir. Bu sistem ile sınıf aydınlatmaları girişteki anahtar ile veya öğretmen masasının yanına konumlandırılan kontrol paneli ile devreye alınabilecektir. Kontrol paneli üzerine eklenecek senaryolar ile sınıf içi etkinliklerde (akıllı tahta kullanımı, projeksiyon ile ders işleme vb.) farklı aydınlatma seviyeleri de oluşturulabilecektir.

Sınıflarda tüm bu ekipmanlara ek olarak varlık sensörü kullanılması da önerilmiştir. Böylelikle kontrol panelinden veya anahtardan kapatılması unutulan aydınlatma elemanları (öğlen yemeği, farklı sınıflardaki etkinlikler, spor veya konferans salonu kullanımı vb.) sensörün hiçbir hareket algılamamasının ardından otomatik olarak kapatılacaktır.

İkinci alternatif aynı armatür yerleşimi ile dinamik aydınlatma sistemlerinin kullanılmasıydı. Dinamik Aydınlatma renk sıcaklıklarını karıştıran ve ışık yoğunluğu ile rengini değiştirmemize olanak tanıyan bir sistemdir. Bu sistemde yapay aydınlatma, kullanıcının sirkadiyen ritmine göre düzenlenmektedir. Bu aktif olunan ve dinlenilen zaman olarak ayrılan biyolojik süreci destekler. Gün süresince, güneşin konumu ve doğal ışığın renk sıcaklığı değişir. Dinamik aydınlatma çözümleri bu değişiklikleri dikkate almakta, akıllı kontrol sistemleri ve sensör teknolojileri ile gerçekleştirilmektedir. Bu sayede armatürler aynı anda dolaysız veya dolaylı ışık verebilir, farklı renklerdeki ışık kaynakları ayrı ayrı kontrol edilebilir (**Şekil 8**).

Dinamik aydınlatma ile renk sıcaklığı ve yoğunluğundaki değişimin yanı sıra birinci alternatifte olduğu gibi doğal ışıktan gelen katkılar dikkate alınıp, sınıftaki ortalama aydınlık düzeyi 300lux değerini sağlayacak şekilde yapay aydınlatmalar kontrol edilecektir. Bu sayede enerji tüketimi de azalacaktır.



Şekil 8: Dinamik aydınlatma.

Dinamik aydınlatma ile ışık sadece görme duyusunu değil, öğrencilerin nasıl hissedip nasıl düşündüğünü de etkileyebilecektir.

Örneğin; sabahın ilk ders saatlerinde ve öğlen yemeği sonrasında 15 dakikalık süre boyunca mavimsi renk sıcaklığı (12000K) ile çocukları uyanık ve aktif hissettirmek, tam konsantrasyon gerektiren deneme sınavları süresince soğuk beyaz renk sıcaklığı (6000K) ile çocukların konsantrasyonlarını sağlamalarına yardımcı olmak, standart ders aktarımı sırasında nötr beyaz renk sıcaklığı (4000K) ile çocukları daha az hareket etmeye teşvik etmek ve bireysel çalışmaların olduğu, çocukların daha dingin olması ve rahatlamaları istenilen zamanda ise sıcak beyaz renk sıcaklığı (3000K) seçilerek farklı görevler için farklı senaryonalar oluşturulabilir. Eğitimci, aydınlatma tasarımcısı ve otomasyon disiplinlerinin ortak kararları doğrultusunda, gün içerisinde renk sıcaklıklarının değişimi için kurgulanan bu tip senaryolar otomasyon sistemi ile gerçekleştirilebilir. Işık renklerinde gerçekleşen bu değişim ile öğrencilerin gözle hissedemeyecekleri ancak duyuları ile algılayabilecekleri bir ortam yaratmak mümkün olacaktır.

5. SONUÇ

Işığın insanlar üzerindeki fizyolojik ve psikolojik etkileri sürekli üzerinde düşünülen ve araştırılan konulardan biridir. Aydınlatma tasarımı yapılırken ergonomik bir tasarım gerçekleştirmek, performansı arttırmak, duygusal, algısal ve zihinsel gereksinimlere cevap veren aydınlatma çözümlerini sunabilmek ve sürdürülebilir yapılar oluşturmak için öncelikle farkındalıkların artması daha sonra ise teknolojinin bizlere sunduğu olumlu imkânlarından faydalanmak gerekmektedir.

Aydınlatma tasarım programları standartların ve tasarımın gerektirdiği görsel koşullara uygun aydınlık düzeyini sağlama, kamaşmanın kontrolü ve düzgünlük gibi fiziksel büyüklüklerin elde edilmesini sağlar. Ancak aydınlatma çözümlerinde kullanıcının fiziksel gereksinimlerinin yanında psikolojik ihtiyaçlarının da dikkate alınıp gerek yatırım gerek ise işletme maliyetlerinin minimum değerlerde tutulup, sürdürülebilir çözümlerin oluşturulması aydınlatma tasarımcısının görevlerinin başında gelmelidir.
Bu çalışmada ortaya konduğu gibi, doğru lamba ve armatür seçimi, iyi bir tasarım ve aydınlatma kontrol sistemlerinin entegrasyonu ile enerji tasarrufu sağlanarak, sürdürülebilir bir ders ortamının yaratılmasının yanı sıra çocukların dersler sırasındaki stres, kronik yorgunluk, konsantrasyon sorunlarının minimize edilmesi ve öğrenmenin iyileştirilmesine katkı sağlaması gibi kazanımlar elde edilebilmektedir.

Yukarıda kısaca belirtilmiş olan eğitim ortamları için ideal aydınlatma tasarım koşulları maalesef ki pratik yaşama aktarılamadığı gözlemlenmektedir. İlk ve orta öğretim okullarının %90'ından fazlası hatta üniversiteler eski ve tadilat gerektirmektedir. Kamu ve özel eğitim kurumlarında aydınlatma konularına yeterince önem verilmemesi, aydınlatmanın mekâna sadece ışık katmak olarak algılanması ve projelerin başında aydınlatmaya gerekli bütçelerin ayrılmaması gibi sebeplerle ideal koşullar sağlanamamaktadır.

Okullardaki öğrenme ve sağlık koşullarının geliştirilmesi gereken bir **ihtiyaç** olduğu bilincinin artması, eğitim yapılarına ait aydınlatma standartların güncellenmesi gerekmektedir. Bunun yanı sıra ilgili projeler için aydınlatma teknik şartnamelerinin hazırlanması ve bu şartname içerisinde tüm kriterlerin (aydınlık düzeyi, yatay ve düşey düzlem ayrımları vb.) yorum gerektirmeyecek şekilde belirtilmelidir. Sorumlu birimlerce aydınlatma ve uygulama projelerinin uygunluğu denetlenmelidir.

KAYNAKLAR

1. Fördergemeinschaft Gutes Licht- Lighting with Artificial Booklet 1, (2008).

2. G.J. Beld., W.J.M. Bommel. Lighting for Work: A Review of Visual and Biological Effects, Philips Lighting, Holland, (2004).

3. A. Joseph, Impact of Light on Outcomes in Healthcare Settings, Director of Research, The Center for Health Design, (2006).

4. G.J. Beld., W.J.M. Bommel, Industrial Lighting and Productivity, Philips Lighting, Holland, (2002).

5. Fördergemeinschaft Gutes LichtImpact Of Light on Human Body Booklet 19, (2010).

6. M. Ekerbiçer, Işık ve İnsan Psikolojisi, PLD Dergisi, 2007/5, İstanbul, (2007).

7. Z. Sabuncuoğlu, M. Tüz, Örgütsel Psikoloji; 2. Baskı, Ezgi Kitabevi, (1996).

8. Licht.Wissen 02 Good Lighting for a Better Learning Environment, (2012).

3.Ulusal
Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi

10-11 Mayıs 2018
İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul

KONUT MEKANLARINDA CEPHE AÇIKLIKLARINA BAĞLI GÜNIŞIĞI PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİNE İLİŞKİN BİR ÇALIŞMA

Araş.Gör.Z.Aybike Kılıç[a]
Prof.Dr.Alpin Köknel Yener[b]
İTÜ Mimarlık Fakültesi
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

ÖZET

Günışığının mekânlarda etkin bir şekilde kullanımı, doğal ışığın mekân içerisine doğru bir şekilde alınması ile olanaklıdır. Doğal ve fiziksel birçok parametre ile bağlantılı olan doğal aydınlatma tasarımında cephe açıklıklarına dair alınan tasarım kararları iyi bir görsel çevrenin oluşturulması ve mekânlarda görsel konforun sağlanması bakımından en etkin rollerden birine sahiptir. Yapı üretimindeki payı, kullanım süresi ve zaman içerisinde değişen mekân gereksinimleri ile konut mekânlarında görsel konfor koşullarının sağlanması ayrıca önemlidir. Gerektirdiği görsel konfor ihtiyaçları ve kullanıcı tercihlerine bağlı olarak konut binalarında cepheye dair alınması gereken kararlar diğer tipolojilere göre farklılık göstermektedir. Bu doğrultuda yapılan çalışma içerisinde, ele alınan standartlaştırılmış plan şemasına sahip konut biriminde yaşama mekânına yönelik günışığı analizleri yapılarak mevcut durum ortaya konmuştur. Cepheye yönelik bazı bileşenler değiştirilerek iç mekânda görsel konforun sağlanmasına yönelik farklı cephe alternatifleri oluşturulmuştur. Cephe tasarımlarına yönelik alternatiflerin gerçekleştirdiği günışığı performansları DIALUX programında analiz edilerek iklime dayalı günışığı değerlendirme yöntemlerinden 'Faydalı Günışığı Aydınlığı (FGA)' yöntemi ile değerlendirilmiştir.

Anahtar sözcükler: Günışığı, Saydamlık oranı, Pencere biçimi, Faydalı günışığı aydınlığı

ABSTRACT

The effective use of daylight in spaces is possible by taking natural light into the space properly. In daylighting, which link to many natural and physical parameters, design decision about windows have one of the most forceful roles providing visual comfort condition in space. It is also important that the visual comfort conditions provide in residential spaces in terms of the ratio in building product, the duration of occupation and space requirement that change over time. Depending on the visual comfort requirements and the user preferences, the decisions to be made regarding the facade in residential buildings differ according to the other typologies. In this study, the present situation was revealed by analyzing the daylight for living room in the housing unit with the standardized plan scheme.By chancing some components of the facade, different facade alternatives were created to provide visual comfort in interiors. The daylight performances of the alternatives for facade design was analyzed in DIALUX and evaluated using 'Useful Daylight Illmination (UDI)' method, which is climate based daylight modelling.

Key words: Daylight performance, Window wall eatio, Window shape, Useful daylight illumination

[a] e-posta adresi: aybike.klc@gmail.com.tr
[b] e-posta adresi: yener@itu.edu.tr

1. GİRİŞ

Yapma çevreye ilişkin tasarımlarda günışığı kullanımı, mekânlarda hem fizyolojik hem de psikolojik görsel konfor parametrelerinin sağlanması bakımından ana bileşen konumundadır. İç ve dış mekân arasında arayüz oluşturarak günışığının mekan içerisine alınmasını sağlayan açıklıklara dair fiziksel özelliklerin belirlendiği cepheler, içeri alınan günışığını karakterize etmekte, iç mekandaki ışığın miktarını ve dağılımını etkilemektedir. İç mekânda var olan günışığı etkinliğinin arttırılması, günışığının niceliksel ve niteliksel olarak kullanıcı için rahatsızlık oluşturmaması, göz sağlığının korunması gibi olumlu durumları belirten görsel konforun sağlanabilmesi, bu anlamda erken tasarım evresinden itibaren cephe tasarımına yönelik tasarım kararlarının doğru bir şekilde alınması ile olanaklı olmaktadır.

Konut mekanları, barınma ihtiyacına ilave olarak farklılaşan mekansal gereksinimleri sebebiyle görsel konfor koşullarının sağlanmasının temel gereklilik olduğu mekanlardır. Görsel konfor ihtiyaçları ve kullanıcı tercihlerine göre şekillenen doğal aydınlatma tasarımı için konut binalarında cepheye dair alınması gereken kararlar, bu anlamda diğer tipolojilere göre farklılık göstermektedir. Bu doğrultuda yapılan çalışma içerisinde, Türkiye'deki konut üretiminin büyük bir payını oluşturan, standartlaştırılmış tip plan şemasına sahip sosyal konut birimi ele alınmaktadır [**1**]. Ele alınan konut biriminde yaşama mekânına ilişkin günışığı analizleri yapılarak mevcut cephe tasarımı ortaya konmuş, cephe açıklıklarına yönelik bazı parametreler değiştirilerek iç mekânda görsel konforun sağlanması için farklı cephe alternatifleri oluşturulmuştur. Cephe tasarımlarına yönelik oluşturulan alternatifler ile yaşama mekanında elde edilen günışığı performansları DIALUX programında analiz edilerek, iklime dayalı günışığı değerlendirme yöntemlerinden 'Faydalı Günışığı Aydınlığı (FGA)' yöntemi ile değerlendirilmiştir.

2. KONUT MEKÂNLARINDA GÜNIŞIĞI VE GÖRSEL KONFOR

Bir mekânın günışığı ile aydınlatılmasının amacı, yeterli bir şekilde görsel çalışma alanlarını aydınlatmak, çekici bir görsel çevre yaratmak, elektrik enerjisinden tasarruf etmek ve biyolojik olarak gerekli olan ışığı sağlamaktır. İyi aydınlatılmış bir çevre aynı zamanda konforlu, hoş, kullanıcıların eğilimine ve isteklerine uygun olmalıdır [**2**].

Temel ihtiyaç olan barınma ihtiyacının yanında insanların özel yaşamlarını gerçekleştirdiği, dinlenme ve konfor gereksinimlerini karşıladığı, vaktinin büyük bir kısmını geçirdiği konut mekânları, kullanıcı ihtiyaçlarına cevap vermesinin yanısıra mekânsal konfor koşullarının sağlanmasının temel gereklilik olduğu yaşam alanlarıdır [**3**]. Bu anlamda konut mekanlarında kişiler üzerinde genel olarak fizyolojik bir rahatlık sağlayan görsel konfor koşullarının sağlanması önemlidir. Konut mekanları içerisinde konfor kavramının en çok arandığı mekanların başında ise yaşama mekanları gelmektedir.

İç mekanlarda görsel konfor koşullarının oluşturulması için çeşitli fizyolojik ve psikolojik performans parametrelerinin sağlanması gerekmektedir. Bunlardan fizyolojik performans parametreleri, mekân içerisindeki doğal ışığın niteliğine ve niceliğine yönelik aydınlık düzeyi, parıltı, düzgünlük gibi parametreleri ifade ederken, psikolojik performans parametreleri ise mekânın algılanması, mekân içerisinde kullanıcının iyi hal, sağlık ve görsel tatmini ile ilgili

olarak günışığını mekân içerisinde görme isteği, dış görüş ve mahremiyet gibi parametreleri belirtmektedir.

2.1. Fizyolojik Görsel Konfor Parametreleri

Görme eyleminin gerçekleştirilebilmesi için çalışma düzleminde sağlanması gereken aydınlık düzeyi, iç mekanlarda sağlanması gerekli olan fizyolojik görsel konfor parametrelerinden biridir. Çeşitli standart ve tasarım rehberlerinde fizyolojik anlamda görsel konforun sağlanmasına yönelik gerekli aydınlık düzeyi değerleri tanımlanmıştır. Konut tipolojisine yönelik yaşama mekanlarında gerçekleşen eylemler için gerekli aydınlık düzeyleri **Çizelge 2.1**'de verilmektedir.

Çizelge 2.1: Çeşitli rehber ve çalışmalara göre yaşama mekanlarında istenen eşik aydınlık düzeyleri [**4, 5**].

Mekan Tipi	İşlev	IESNA	EN-12464+CIBSE 2009
Yaşama Mekanı	Genel	30 lux	100 lux
	Tv –Plazma	20 lux	20 lux
	Yemek Bölümü	200 lux	300 lux

Aynı zamanda yaşama mekanlarına yönelik yapılan pek çok çalışmada, iç mekanda gerçekleştirilen eylemlere bağlı olarak belirlenen 300 lux aydınlık düzeyi yaşama mekanlarında sağlanması gereken eşik aydınlık düzeyi olarak alınmaktadır.

İç mekanda sağlanması gereken diğer bir fizyolojik görsel konfor parametresi parıltıya bağlı kamaşma olmaktadır. Konut mekânlarına özel bir değerlendirme kriteri olmamakla birlikte, doğru bir cephe tasarımı için iç mekânda var olan parıltı düzeylerinin günışığına yönelik oluşturulan çeşitli kamaşma kategorileri sınırında kalması beklenmektedir. Aynı zamanda görsel konfor bakımından günışığının iç mekanda düzgün bir dağılım göstermesi önemlidir. Standart ve tasarım rehberlerinde konut mekanlarında günışığı düzgünlük değerine (Emin/Eort) yönelik herhangi bir sınır değer belirtilmemekle birlikte, BREEAM değerlendirme sisteminde yaşama mekanları için minimum düzgünlük değeri 0.30 olarak belirtilmektedir [**6**].

2.2. Psikolojik Görsel Konfor Parametreleri

Sağlıklı bir görsel çevre oluşturulması için iç mekanlarda fizyolojik performans parametrelerinin yanısıra, görsel konfora yönelik psikolojik performans parametrelerinin de sağlanması beklenmektedir. Görsel konforu etkileyen psikolojik performans parametreleri genel olarak; gün ışığını mekanda görme isteği, dış görüş ve mahremiyet olarak sıralanabilmektedir [**7**]. Yapılan çeşitli çalışmalar ile özellikle konut hacimlerinde günışığı görme isteği ve dış görüş parametrelerinin karşılanmasının, görsel konforun sağlanmasına yönelik kullanıcı psikolojisi açısından çok önemli parametreler olduğu ortaya konmaktadır.

2.3. Konut Mekânlarında Günışığı Performansının Değerlendirilmesi

Konut mekanlarında günışığı performansının değerlendirilmesine yönelik günışığı faktörü ve ortalama günışığı faktörü gibi statik değerlendirme yöntemleri geçmişten itibaren kullanılmakta, standartlarda, tasarım rehberlerinde ve çeşitli değerlendirme sistemlerinde bir ölçüt olarak ele alınmaktadır. İklime dayalı günışığı değerlendirme yöntemlerinin geliştirilmesi ile birlikte çalışma düzlemindeki günışığı performansının konut mekanlarına özel değer aralığı içerisinde tanımlandığı Faydalı Günışığı Aydınlığı yöntemi (UDI/FGA) ortaya atılmıştır. Tek bir aydınlık

düzeyinin değil, çeşitli çalışmalar sonucunda (simülasyon, ölçüm, anket) mekanın kullanıcıları tarafından faydalı olarak tanımlanan aydınlık düzeyi aralığının ifade edildiği bu yöntemde, konut mekânları için belirlenen faydalı günışığı aydınlık düzeyi aralıkları aşağıda verildiği gibi olmaktadır [**8**].

- FGA 'Yetersiz' (X<100 lux)
- FGA 'Ek yapma aydınlatma ilavesi gereken aydınlık düzeyi' (100 lux<X<300 lux)
- FGA 'Yeterli' (300 lux < X<3000 lux)
- FGA 'Aşırı' (3000 lux<X)

Faydalı günışığı aydınlığının FGAek ve FGAyeterli değer aralıkları toplamı olarak ifade edildiği yöntemde, çalışma kapsamında 300 lux aydınlık düzeyinin eşik aydınlık düzeyi olarak ele alınması ve ek bir yapma aydınlatma ihtiyacı oluşturmayan durumların sağlanması için FGAyeterli değer aralığı hesaplamalarda baz alınmıştır.

3. CEPHE TASARIMINA BAĞLI GÜNIŞIĞI PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ: KONUT ÖRNEĞİ

Bulunduğu yerin doğal ve fiziksel tasarım parametrelerine göre yönelimi yapılan, formu oluşturulan bir yapıda, cepheye gelen günışığı miktarının belirlenmesi ile birlikte günışığının iç mekândaki etkinliğini arttırmak ve görsel konfor koşullarını oluşturmak cephe açıklıklarına yönelik alınan temel tasarım kararlarına bağlı olmaktadır. Günışığı açıklıklarına yönelik tasarım parametreleri; pencerelerin baktığı yön, pencerelerin boyutu, pencerelerin şekli, pencerelerin konumu, pencere camına yönelik özellikler ve gölgeleme elemanı kullanımı olarak sıralanabilmektedir. Çalışmanın bu bölümünde cephe açıklıklarına yönelik değişkenlerin -pencere boyutu ve pencere biçimi- iç mekândaki günışığı performansına etkisi, konut biriminde yer alan yaşama mekanı üzerinden analiz edilerek değerlendirilmiştir.

Doğru bir pencere boyutu, mekânda gerçekleştirilen aktiviteyle bağlantılı olarak gerekli aydınlık düzeyi ve gök koşulları ile ilişkilidir [**9**]. Bu anlamda mekân içerisinde gerekli olan aydınlık düzeyi miktarının belirlenmesini ve yapının bulunduğu yerdeki gök koşullarının tespit edilmesini takiben pencere boyutunun belirlenmesine yönelik süreç mekânın günışığı ile aydınlanması için gerekli açıklık alanın bulunması ile başlamaktadır [**10**]. Buna yönelik çalışmalarda ele alınan yaklaşımlardan biri pencere alanının, pencerenin üzerinde bulunduğu duvar alanına oranı olarak tanımlanan saydamlık oranı olmaktadır [**7**].

Saydamlık oranı tasarım gereklilikleri ile birlikte yapının bulunduğu yerin iklim özelliklerine, yapının yönelimine ve mekan boyutlarına göre şekillenmektedir. Kullanıcıların mekân içerisindeki pozisyonu, kullanıcı aktivitesi ve görsel performans ihtiyaçları mekanda sağlanması gereken saydamlık oranını etkileyen diğer önemli faktörlerdir [**11**]. Yaşama mekanlarında görsel konforun sağlamasına yönelik saydamlık oranlarının irdelenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda, genel olarak yaşama mekanları için %30 saydamlık oranının hem fizyolojik hem de psikolojik görsel konfor koşullarının sağlanması adına yeterli olduğu belirlenmiştir [**7, 11**]. Bu anlamda

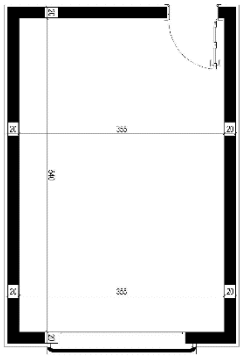
çalışma içerisinde ele alınan senaryolarda saydamlık oranına ilişkin değerler için %30 saydamlık oranı alt sınır değeri olarak kabul edilmiştir.

Çalışma kapsamında ele alınan ve günışığı açıklıklarını ifade eden özelliklerden bir diğeri pencerenin şekli/biçimi olmaktadır. Daha çok tasarımsal kaygılara göre şekilllenen açıklık biçimleri, iç mekânda gerçekleşen günışığı performansına önemli derecede etki etmektedir. Aynı zamanda pencerelerin dış görüş için bir çerçeve oluşturması, pencere şekillerine yönelik yapılan tercihlerin tipolojiye, mekân içerisinde gerçekleştirilen eylem türüne ve kullanıcıların dış ortamı görme isteğine göre farklılık göstermesine neden olmaktadır. Mekan boyutları, güneş kontrol elemanının kullanım durumu, pencere boyutu ve pencere konumu, pencere biçiminin iç mekandaki günışığı performansına etkisini belirleyen diğer önemli faktörlerdir. Konut mekânlarında pencere biçimlerinden genel olarak yatay (bant/şerit), düşey (Fransız) ve kare pencere biçimlerinin kullanımları görülmektedir.

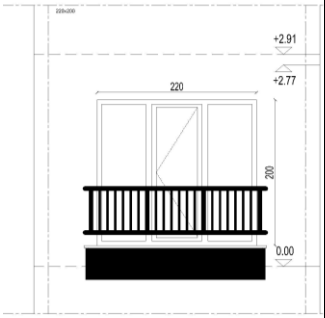
3.1. Çalışma kapsamında ele alınan konut biriminin tanıtılması ve senaryoların oluşturulması

Çalışma kapsamında ele alınan konut birimi, konut üretimindeki payı göz önünde bulundurularak seçilmiş olup, standartlaştırılmış tip plan şemasına sahiptir. Günışığı performansına yönelik analizler, konut mekânlarında konfor kavramının yüksek düzeyde arandığı yaşama mekanı için yapılmaktadır. Ele alınan konut birimindeki yaşama mekanına ve mevcut cepheye ilişkin değişkenler **Çizelge 3.1**'de verilmektedir.

Çizelge 3.1: Ele alınan yaşama mekanına ve cepheye ilişkin değişkenler.



PLAN



ÖN GÖRÜNÜŞ

Mekâna İlişkin Değişkenler
Hacim Boyutları: 5.40 m x 3.55 m x 2.70 m
Alan: 19.17 m^2
İç Yüzeylere ait ışık yansıtma katsayıları: Duvar: %77, Döşeme: %28, Tavan: %70
Dış engel yok
Cepheye İlişkin Değişkenler
Pencere Boyutu: 2.20 m x 2.00 m
Saydamlık oranı: %45.92
Doğramaya ilişkin düzeltme faktörü: %75
Cam ait ışık geçirme katsayısı: %79
Güneş kontrol elemanı yok

Cephe bileşenlerinin iç mekânda günışığı performansına etkisinin irdelenmesi amacıyla senaryolar pencere boyutu ve pencere biçimine yönelik değişkenler üzerinden oluşturulmuştur. Pencerenin konumu, cam türü ve doğramaya ilişkin özellikler bütün senaryolar için sabit tutulmuştur. Bu anlamda pencerelerin bütün senaryolarda dış duvarın orta aksında yer aldığı varsayılmıştır. Mevcut projede kullanılan cam türü ışık geçirme katsayısı %79 olan 4+16+4 mm Low-e kaplamalı ısıcam olarak belirlenmiş olup, hesaplamalarda bütün senaryolar için geçerli cam türü olarak alınmıştır. Doğramaya ilişkin malzeme türü ahşap görünümlü PVC esaslı malzeme olarak seçilmiş, doğramaya ilişkin ışık yansıtma katsayısı bütün modellerde sabit tutulmuştur. Doğramalara ait düzeltme faktörü ise her bir senaryo için oluşturulan pencere

tiplerine yönelik ayrı ayrı hesaplanmış olup, pencere tip ve boyutlarına özgü olarak hesaplamalara dahil edilmiştir.

Bütün senaryolar için pencerelerin güney cephede konumlandığı -örnek olarak ele aldığımız standartlaştırılmış plan tipi için hazırlanan tasarım kuralları içinde belirtilen *'salonlar güney, doğu ya da güneydoğuya bakmalı'* ifadesi gereği [**12**] ve çevresinde herhangi bir engel bulunmadığı varsayılan çalışma içerisinde, pencere boyutu için %50, %40 ve %30 saydamlık oranları irdelenmiş olup, pencere şekli olarak konut binalarında kullanımları yaygın bir şekilde görülen düşey/Fransız pencere ve yatay/şerit pencere biçimleri senaryolara dahil edilmiştir. Aynı zamanda düşey pencerelere yönelik engelleme projesi oluşturularak mevcut projede bulunan alüminyum korkuluklar simülasyon programına işlenmiş, yapılan hesaplamalara katılmıştır. İç mekanda günışığı performansının irdelenmesi amacıyla **Çizelge 3.2**'de verilen senaryolara yönelik DIALUX simülasyon programında modellemeler yapılmış ve yaşama mekanına ait günışığı performansları analiz edilmiştir.

Çizelge 3.2: Çalışma kapsamında oluşturulan senaryolara ilişkin bilgiler.

Ele Alınan Senaryolar	İçerik
S1 (mevcut durum)	%50 saydamlık oranı, 2.20 x 2.00 m, Düşey/Fransız pencere tipi
S2	%40 saydamlık oranı, 1.80 x 2.00 m, Düşey/Fransız pencere tipi
S3	%30 saydamlık oranı, 1.50 x 2.00 m, Düşey/Fransız pencere tipi
S4	%50 saydamlık oranı, 1.50 x 2.00 m, Yatay/Şerit pencere tipi
S5	%40 saydamlık oranı, 2.70 x 1.40 m, Yatay/Şerit pencere tipi
S6	%30 saydamlık oranı, 2.20 x 1.40 m, Yatay/Şerit pencere tipi

Günışığı performansının belirlenmesi amacıyla hesap düzlemi, 0.85 m yükseklikte ve yaşama mekanında kullanıcı tercihlerine bağlı olarak esnek bir kullanım görülmesi sebebiyle herhangi bir sınır bölgesi oluşturulmadan düzenlenmiştir. Hesap düzleminde EN 12464-1 standardında yer alan verilere göre belirli ölçülere sahip modüllerden bir hesap gridi oluşturulmuş, her bir modülde gerçekleşen günışığı aydınlık düzeyleri çalışma kapsamında kullanılan günışığı değerlendirme yöntemi kriterlerine göre değerlendirilmiştir [**13**].

Hesaplamaların bütün yılı kapsaması amacıyla kış ayları olan Eylül, Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat ayları için Aralık ayı, yaz ayları olan Mart, Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ayları için ise Haziran ayı hesaplamalarda temsili ay olarak seçilmiştir. Her ayın karakteristiğini temsil eden günün, her ayın 15. günü olduğu bilimsel bir çalışma ile belirlenmiş [**14**], buna yönelik çalışma kapsamında günışığı performansının belirlenmesine ilişkin simülasyonlar 15 Aralık ve 15 Haziran temsili hesap tarihleri için yapılmıştır. Hesaplamalarda 10.00, 12.00, 14.00 ve 17.00 saatleri temsili hesap saatleri olarak belirlenmiştir. CIE tarafından kabul edilmiş açık, kapalı ve ortalama gök modellerinin kullanıldığı hesaplamalarda, ele alınan hesap tarih ve saatlerine yönelik İstanbul için belirlenen ve yıllık iklim verilerinden elde edilen gök modelleri kullanılmıştır [**15**].

Simülasyonlar sonucu elde edilen verilere göre yapılan değerlendirmeler, iç mekanda günışığı performansına yönelik mevcut durumun detaylı bir şekilde ortaya konulmasına ve günışığının değişken yapısı göz önünde bulundurarak yıllık bir değerlendirme ile optimum tasarım seçeneklerinin oluşturulmasına imkan veren iklime dayalı günışığı değerlendirme yöntemlerinden

faydalı günışığı aydınlığı değerlendirme yöntemi ile yapılmıştır. Konut yapılarında görsel konforun sağlanmasına yönelik özelleştirilmiş asgari ve azami aydınlık düzeyi sınırları bulunan 'Faydalı Günışığı Aydınlığı (FGA)' yönteminde, optimum günışığı performansının belirlenmesi amacıyla günışığı etkin saatler için ek bir yapma aydınlatma gerektirmeyecek durumları ifade eden FGAyeterli (300lx-3000lx) değer aralığı değerlendirmede baz alınmıştır. Faydalı günışığı aydınlığı yönteminin konut mekânlarında kullanımına yönelik yapılan çalışmalarda hesaplamalar için etkin günışığı saati 08.00-20.00 olarak belirlenmiş olup, çalışma kapsamında yapılan analizler için aynı saat dilimi etkin günışığı saat aralığı olarak belirlenmiştir [**7**].

3.2. Ele alınan yaşama mekânında mevcut cephe tasarımı sonucu oluşan günışığı performansının belirlenmesi

Çalışma kapsamında örnek olarak alınan konut yapısının mevcut cephe tasarımını ifade eden S1 senaryosunda, güney cephede yer alan 2.20 (genişlik) x 2.00 (yükseklik) m boyutlarına ve %50 saydamlık oranına sahip düşey/Fransız pencere ele alınmıştır. Doğramaya ilişkin düzeltme faktörü 0.75 olan S1 senaryosunda, temsili hesap tarih ve saatleri için hesap düzleminde gerçekleşen günışığı aydınlık düzeyleri belirlenmiştir. Oluşturulan hesap gridindeki her bir modülde meydana gelen aydınlık düzeylerinin faydalı günışığı aydınlığı için belirlenen değer aralığında hesaplamaya dahil edildiği yaşama mekanında, sağlanan günışığı performansına yönelik elde edilen faydalı günışığı aydınlığı **Çizelge 3.3**' te verilmektedir.

Çizelge 3.3: S1 senaryosuna göre yaşama mekanı için sağlanan yıllık faydalı günışığı aydınlığı.

Temsili Tarih	Hedef Aydınlık Düzeyi Aralığının Mekanda Sağlanma Oranı (A)	Temsili Hesap Saati (B)	A x B	Sağlanan Yıllık Faydalı Günışığı aydınlığı (FGAyeterli)
15 Aralık Saat 10.00	%38,96	547,5	213,31	%42,86
15 Aralık Saat 12.00	%58,44	547,5	319,96	
15 Aralık Saat 14.00	%0,06	547,5	0,33	
15 Aralık Saat 17.00	%0,00	547,5	0,00	
15 Haziran Saat 10.00	%51,94	547,5	284,37	
15 Haziran Saat 12.00	%72,72	547,5	398,14	
15 Haziran Saat 14.00	%80,51	547,5	440,79	
15 Haziran Saat 17.00	%40,25	547,5	220,37	
Toplam		4380	1877,27	

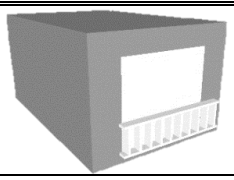
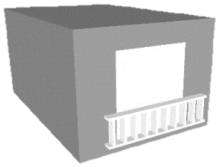
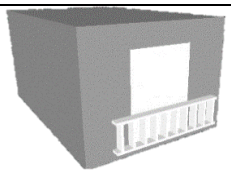
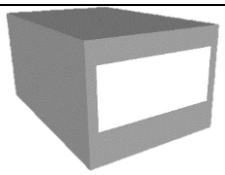
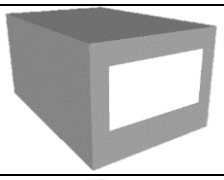
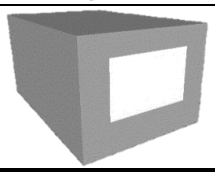
Mevcut durumda var olan cephe tasarımının temsili tarih ve saatlere göre analiz edilmesi sonucu, yaşama mekânında en düşük günışığı performansı 15 Aralık saat 17.00'de %0,00 oranında elde edilirken, iç mekanda %80,81 oranında faydalı günışığı aydınlığı sağlanması sonucu en yüksek günışığı performansı 15 Haziran saat 14.00'de meydana gelmektedir. Yıllık olarak yaşama mekanında sağlanan faydalı günışığı aydınlığı oranı ise %42, 86 olarak tespit edilmiştir. Mekân içerisinde minimum %50 oranında faydalı günışığı aydınlığı sağlanmasının beklendiği çalışmada, mevcut durumu temsil eden S1 senaryosu ile bu oranın elde edilemediği görülmektedir.

3.3. Ele alınan yaşama mekânına yönelik çalışma kapsamında belirlenen senaryoların karşılaştırılması ve değerlendirilmesi

Ele alınan yaşama mekanında mevcut cephe tasarımı ile çalışma kapsamında beklenen oranda faydalı günışığı aydınlığı sağlanamamakta, iç mekanda görsel konfor bakımından istenilen

koşulların elde edilemediği görülmektedir. Bu anlamda pencere boyutu ve pencere biçimine yönelik değişkenlerin günışığı performansına etkisini belirlemek amacıyla çeşitli senaryolar oluşturulmuş, oluşturulan senaryolar DIALUX simülasyon programı ile analiz edilmiştir. Yapılan analizler ve değerlendirmeler sonucunda çalışma kapsamında oluşturulan senaryolara yönelik elde edilen faydalı günışığı aydınlığı değerleri **Çizelge 3.4**' te verildiği gibidir.

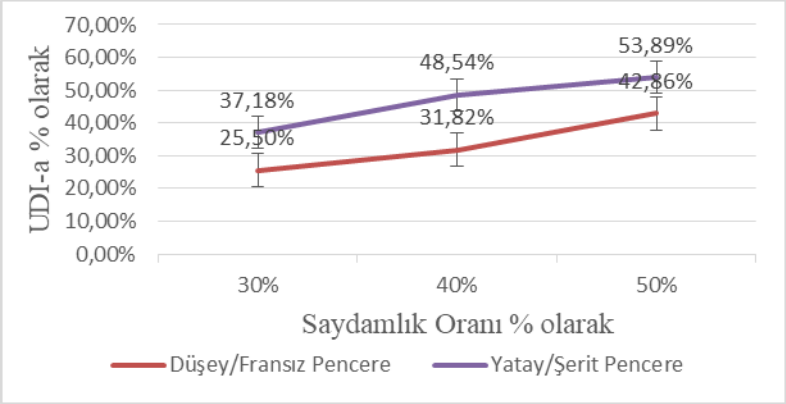
Çizelge 3.4: Oluşturulan senaryolar sonucunda yaşama mekanında oluşan yıllık faydalı günışığı aydınlığı (FGAyeterli).

Senaryolar		Pencere Boyutu	Pencere Biçimi	Sağlanan Yıllık Faydalı Günışığı Aydınlığı (FGAyeterli)
S1		2.20 x 2.00 m ***%50 S.O***	Düşey/Fransız Pencere	%42,86
S2		1.80 x 2.00 m ***%40 S.O***	Düşey /Fransız Pencere	%31,82
S3		1.50 x 2.00 m ***%30 S.O***	Düşey /Fransız Pencere	%25,50
S4		3.10 x 1.40 m ***%50 S.O***	Yatay/Şerit Pencere	%53,89
S5		2.70 x 1.40 m ***%40 S.O***	Yatay/Şerit Pencere	%48,54
S6		2.20 x 1.40 m ***%30 S.O***	Yatay/Şerit Pencere	%37,18

DIALUX programında yapılan simülasyonlar sonucunda ele alınan yaşama mekânına yönelik yıllık günışığı aydınlığı değerlerinin, cephe tasarımına ilişkin parametreler olan ve çalışma kapsamında irdelenen pencere boyutu ve pencere biçimine göre değişiklik gösterdiği görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre çalışma kapsamında saydamlık oranı bakımından eşik değer olarak alınan %30 saydamlık oranı ile standart mekan boyutlarına ve plan şemasına sahip yaşama mekanında, her iki pencere türü için iç mekanda istenilen günışığı performansı elde

edilememiştir. Çalışma kapsamında ele alınan yaşama mekanına ait hesap düzleminde sağlanması beklenen %50 oranında faydalı günışığı aydınlığı, sadece %50 saydamlık oranına sahip, yatay/şerit pencere sistemini ifade eden S4 senaryosu ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, aynı zamanda ele alınan senaryolardan aynı saydamlık oranlarına sahip farklı pencere tipleri ile yaşama mekanında farklı günışığı performansları elde edildiği görülmektedir. Buna göre %50 saydamlık oranına sahip mevcut durumu ifade eden S1 senaryosu ile hesap düzleminde istenilen günışığı performansı sağlanamazken, aynı saydamlık oranına sahip S4 senaryosu ile yaşama mekânında %50 oranında faydalı günışığı aydınlığı elde edilebilmektedir.

Çalışma içerisinde kullanılan her iki pencere biçimi için saydamlık oranı arttıkça yaşama mekânında elde edilen faydalı günışığı aydınlığı değerinin doğrusal bir şekilde arttığı görülmektedir. **Şekil 3.1**'de verildiği gibi toplamda aynı oranda faydalı günışığı aydınlığı artış değerine sahip iki pencere tipinden; yatay/şerit pencere tipi ile %30 ve %40 saydamlık oranları arasında %11,36 oranında artış sağlanırken, %40 ve %50 saydamlık oranları arasında %5,35 oranında artış elde edilmektedir. Düşey/Fransız pencere tipinde ise %30 ile %40 saydamlık oranı arasındaki faydalı günışığı aydınlığı değerinde %6,32 oranında artış görülürken, %40 ile %50 saydamlık oranları arasında bu artış %11,36 oranında olmaktadır.



Şekil 3.1: Saydamlık oranı ile ilişkili olarak farklı pencere biçimleri için yaşama mekânında sağlanan yıllık faydalı günışığı aydınlığı değerleri (FGAyeterli).

4. SONUÇ

Mekân içerisine günışığının alınmasını sağlayan, iç ve dış ortam arasında arayüz görevi görerek görsel bir bağ kuran cephe açıklıklarının, iç mekânda görsel konfor koşullarının sağlanmasına yönelik tasarımlarının titizlikle yapılması gerekmektedir. Kişilerin temel ihtiyaçlarından olan barınma gereksiniminin yanısıra, konfor gereksinimlerini üst düzeyde karşılamak istediği konut tipolojisinde, yaşama mekânları görsel konfor koşullarının sağlanması bakımından öncelikli mekanlar olmaktadır. Çalışma kapsamında ele alınan yaşama mekanı üzerinden cepheye yönelik pencere boyutu ve pencere biçimine ilişkin değişkenler ile cephe tasarımının iç mekanda günışığı performansına etkisi faydalı günışığı aydınlığı değerlendirme yöntemi ile belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre standartlaştırılmış tip plan şemasına sahip bir konut birimindeki yaşama mekanının mevcut cephe tasarımı ile çalışma kapsamında beklenen günışığı performansının karşılanamadığı görülmektedir. Ele alınan yaşama mekanında çalışma kapsamında beklenen

günışığı performansının (FGAyeterli 300 lux,%50) sağlanması için cepheye yönelik pencere boyutu ve pencere biçimi değişkenleri üzerinden oluşturulan çeşitli tasarım alternatiflerinin değerlendirilmesi sonucunda, cephe tasarımında pencere boyutu ve pencere biçimine ilişkin aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Çalışma kapsamında ele alınan yaşama mekânı ile benzer özelliklerde olan konut mekânları için yapılan çalışmalarda eşik değer olarak belirlenen %30 saydamlık oranı, iç mekânda sağlanan günışığı performansı bakımından faydalı günışığı değerlendirme yöntemine göre (FGAyeterli) yetersiz kalmaktadır. Benzer boyutlara sahip yaşama mekânlarında %30 saydamlık oranı ile yılın büyük bir bölümünde yapma aydınlatmaya ihtiyaç duyulacağı görülmektedir.
- Ele alınan yaşama mekânına yönelik cephedeki saydamlık oranları arttıkça elde edilen faydalı günışığı aydınlığı değeri artmakta, termal konfor ve yüksek aydınlık düzeylerine bağlı olarak meydana gelebilecek görsel konforsuzluğa yönelik gerekli önlemler alındığı takdirde yaşama mekânlarına yönelik cephe tasarımlarında saydamlık oranlarının artması, kullanıcıların görsel konforu bakımından olumlu bulunmaktadır.
- Konut mekânı üzerinden yatay/şerit pencere biçimi ile düşey/Fransız pencere biçiminin irdelendiği çalışma içerisinde, aynı saydamlık oranına sahip pencere biçimlerinden yatay/şerit pencere biçimi ile düşey/ Fransız pencere biçimine göre, yaşama mekânında daha yüksek oranlarda faydalı günışığı aydınlığı değerinin sağlandığı görülmektedir. Ancak ele alınan iki pencere biçiminin saydamlık oranlarının arttırılmasıyla günışığı performansı üzerindeki etkilerinin farklılık gösterdiği belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

1. TOKİ .*Toplu Konut İdaresi Başkanlığı Kişisel görüşme,* 6 Ekim, (2017).
2. W. Lam. *Sunlighting as Formgiver for Architecture*. New York: Van Nostrand Reinhold Company, (1986).
3. Ö. Sümengen. *Türkiye İçin Konut Binalarının Aydınlatma Enerjisi Gereksinimi Açısından Değerlendirilmesine İlişkin Bir Yaklaşım.* (Doktora Tezi). İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2015).
4. IESNA.The IESNA Lighting Handbook: Reference & Application, 10th Edition, New York: Illuminating Engineering Society of North America, ABD, (2011).
5. Ö.Sümengen, A.K.Yener. Konutlarda Aydınlatma Enerjisi Performansı Ve Görsel Konfor Koşulları.*VII.Ulusal Aydınlatma Sempozyumu*, Kasım 21-22, İzmir, (2013).
6. BREEAM Techical Manuel SD 233, version 2.0, BREEAM International New Constuction (2016).
7. M. Ş. Küçükdoğu ve diğ. *Enerji Etkin Konut ve Yerleşme Tasarımı*. Proje, No: İNTAG 201, TÜBİTAK İnşaat Teknolojileri Araştırma Grubu, Araştırma Projesi Raporu, (1995).
1. J. Mardaljevic, M. Andersen, N. Roy, J. Christoffersen. Dayligting Metrics for Residential Buildings, 4th VELUX Daylight Syposium, May 4-5, (2011).
2. N. Baker, K. Steemers. *Daylight Design of Building*, London: James&James, (2002).
3. CIBSE LG10: Daylighting and Window Design (Lighting Guide), The Chartered Institution of Building Services Engineers, London, (1999).
4. R., G. Hopkings, P. Petherbridge, J. Longmore. *Daylighting*, London: Heinemann, (1966).
5. MATPUM. *Toplu Konut Alanlarında Kentsel Çevresel Standartlar İçin Bir Değerler Sistemi Önerisi* (TOKİ). Ankara. Filmsan-Matsa Basımevi.Ekim (2010).
6. EN 12464-1, Light and Lighting of Workplaces: Part1-Indoor Workplaces. CEN/TC 169, European Committee for Standardisation, (2011).
7. R. Kutlu. *İlköğretim Dersliklerinde Aydınlatma Enerjisi Yönetimi Açısından Yönlere Göre Uygun Cephe Seçeneklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Yaklaşım*. (Doktora Tezi). İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2008).
8. F. Y. Şener, *Sürdürülebilir Çevre İçin Mimari Aydınlatma Sistemi Tasarımında Kullanılabilecek Bir Yaklaşım*. (Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2014).

3.Ulusal
Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi

10-11 Mayıs 2018
İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul

BİNALARDA GÜNIŞIĞI PERFORMANSI DEĞERLENDİRMESİNE İLİŞKİN BİR ÇALIŞMA

Prof. Dr. Alpin Köknel Yener[a]
Gökçe Erdemir[b]
İTÜ Mimarlık Fakültesi
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

ÖZET

Binalarda günışığı performansının belirlenmesine yönelik yöntemlerin geliştirilmesi, mimaride günışığı etkisi analizlerinin gerçekleştirilebilmesi açısından gerekli bir konudur. Literatürde günışığının değerlendirilmesine ilişkin çeşitli yöntemler ile karşılaşılmaktadır. Günışığı performansı değerlendirmek üzere geliştirilmiş yöntemler statik ve dinamik olmak üzere iki grupta incelenebilir. Statik yöntemlerin iklimsel koşulları göz önüne almaması ve bu nedenle yetersiz olması sebebiyle geliştirilmiş dinamik yöntemler, daha geniş bir değişken grubuna izin verirken, çevresel etmenlerin günışığı performansı üzerindeki etkisini gerçeğe yakın olarak yansıtmaktadır. Bu çalışmada, yaygın olarak kullanılan günışığı performansı değerlendirme yöntemlerinden statik metot olan günışığı faktörü ile dinamik metot olan günışığı otonomisi İstanbul'da uygulanan ilkokul dersliklerinin farklı yönelimi, saydamlık oranları ve engel durumları dikkate alınacak şekilde incelenmiştir. Bu amaçla Türkiye'de uygulanacak eğitim kurumları için geçerli yönetmelikte verilen fiziksel özelliklere göre düzenlenen derslik modeli üzerinden güney, doğu ve batı yönleri, farklı saydamlık oranları ve engel durumları için yıl içindeki günışığı performans değerleri karşılaştırılmıştır. Çalışma doğrultusunda iklimle dengeli eğitim yapılarının tasarımında optimum açıklıkların belirlenmesine yönelik bir rehber oluşturmak; tasarımcılara yol gösterecek günışığı performansı değerlendirme sistemi geliştirmek hedeflenmektedir.

Anahtar sözcükler: Doğal aydınlatma, Günışığı değerlendirme yöntemleri, Statik yöntemler, Dinamik yöntemler

ABSTRACT

The development of methods for determining the daylight performance in buildings is a necessary issue for the analysis of daylight effects in architecture. There are various methods in the literature regarding the evaluation of daylight. Methods developed for assessing daylight performance can be examined in two groups which are static and dynamic methods. Dynamic methods developed due to the fact that static methods do not take into consideration climatic conditions and are inadequate in this case, allow a wider group of variables, but reflect the effect of environmental factors on the performance to a close reality. In this study, static method, daylight factor and dynamic method, daylight autonomy; which are widely used daylight performance evaluation methods, have been investigated in order to take into account different orientations, transparency ratios and obstacle conditions of primary school classes in Istanbul. For this purpose, daylight performance of a classroom model designed according to the regulations for educational institutions implemented in Turkey are evaluated. The evaluation consists of variables which are different orientation, transparency ratios and obstacle presence. The study aims to provide a guide to be used in the design of optimum apertures for the design of climate-balanced education buildings and develop a daylight performance evaluation system that will lead designers.

Key words: Natural lighting, Daylight metrics, Static daylight metrics, Dynamic daylight metrics

[a] e-posta adresi: yener@itu.edu.tr
[b] e-posta adresi: erdemirg@itu.edu.tr

1.GİRİŞ

Doğal aydınlatma sisteminin amacı, görsel konfor koşullarını göz önünde bulundurarak mekân içine yeterli günışığının ulaşmasını sağlamaktır. Kullanıcının görsel performansının, psikolojik ve fizyolojik gereksinimlerinin karşılanması için yeterli günışığı aydınlık düzeyinin ve düzgün dağılımının sağlanması, direkt güneş ışığının zararlı etkilerinden kaçınılması gerekmektedir. Son yıllarda günışığı kontrol ve yönlendirme sistemlerinin de gelişmesi ile birlikte, binaların aydınlatılmasında gün içinde öncelikli olarak günışığının kullanılması yaygınlaşmıştır. Bu yönelimin başlıca sebepleri enerji korunumu ve günışığının insan sağlığı üzerindeki etkisi olarak sıralanabilir.

Günışığı, insan sağlığı ve yapılan aktivitelerin yetkinliği açısından çok önemlidir. Doğal aydınlatma kullanımı ile hem en iyi görsel performans alınması sağlanmaktadır, hem de kullanıcıların görsel konforunun sağlanması ile gün içi aktivitelerin verimi artmaktadır. Günışığının insan sağlığı üzerindeki etkileri fizyolojik ve psikolojik açılardan ele alınmaktadır.

Binalarda günışığı kullanımı, konforlu bir çevre için gerekli olmasının yanında, yapma aydınlatma enerjisi tüketimini düşürür, yapma ışık kaynaklarına göre ısıtma yüklerine daha az katkı yaparak ısıtma-soğutma enerjisi tüketimini daha az etkiler. Enerji etkin bir aydınlatma sistemi için yapma aydınlatma sistemi günışığıyla entegre edilerek, gün ışığının yeterli olmadığı durumlarda devreye girecek şekilde tasarlanmalıdır. Bu kapsamda öncelikle günışığından optimum düzeyde faydalanmak amaçlanır. Pencerelerin uygun konumlandırması, boyutlandırılması, uygun saydam bileşenlerin seçilmesi ve doğru hacim tasarımı ile gün ışığı kullanımı maksimize edilebilir. Kullanıcıların fizyolojik ve psikolojik konforunun sağlanmasının yanı sıra enerji tüketiminin azaltılması açılarından ana hedefler; günışığının etkin kullanımı, olabildiğince düzgün bir aydınlığın sağlanması, direkt güneş ışığından korunarak kamaşma kontrolü sağlanması, dış çevre ile görsel ilişki kurulması, dış aydınlık düzeyinin gün içindeki niceliksel ve niteliksel farklılıklarının hissedilmesi, iklim kontrolü ve gürültü kontrolü gibi diğer fiziksel çevresel sistemlerle uyumlu bir tasarımın gerçekleştirilmesi, yapma aydınlatma, ısıtma ve soğutma yüklerinin azaltılması olarak sıralanabilmektedir. Bu hedefler, bulunulan iklim bölgesinin özellikleri, binanın işlevi ve kullanım saatleri gibi değişkenlere bağlı olarak farklı önceliklere sahip olabilirler.

Mimaride günışığı etkisi analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için binalarda günışığı performans değerlendirme yöntemleri geliştirilmiştir. Binalarda günışığı performansının doğru şekilde belirlenmesi, dış aydınlık düzeyinin gerçeğe en yakın olarak hesaplanmasına bağlıdır. Bu noktada son yıllarda iklimsel farklılıkları göz önüne alan yeni değerlendirme yöntemleri geliştirilmiştir. Günışığı performansı değerlendirmek üzere geliştirilmiş yöntemler statik ve dinamik olmak üzere iki grupta incelenebilir. Günışığı faktörü ve aydınlık düzeyi literatürde sıkça kullanılan statik değerlendirme ölçütlerinin başlıcalarıdır. Ancak görsel konforun statik yöntemlerle net olarak değerlendirilmesi mümkün değildir. Bu sebeple geliştirilmiş dinamik yöntemler, daha geniş bir değişken grubuna izin verir iken, çevresel etmenlerin performans üzerindeki etkisini gerçeğe yakın olarak yansıtmaktadır.

Bu çalışmada, günışığı performans değerlendirme yöntemlerinden günışığı faktörü (statik) ile günışığı otonomisi (dinamik) oluşturulan ilkokul dersliği modelinin farklı değişken senaryolarına göre incelenmiştir. Bu amaçla Türkiye'deki eğitim yapıları için düzenlenmiş yönetmelik

gereğince tanımlı gereksinimleri karşılayacak şekilde oluşturulmuş derslik modeli üzerinden farklı yön, engel durumu ve saydamlık oranlarına göre optimum açıklık tasarımının yapılmasında kullanılacak bir rehber oluşturmak amaçlanmıştır. Oluşturulan derslik modelinin yıllık kullanım saatleri içindeki aydınlatma gereksiniminin günışığı ile ne oranda sağlandığı araştırılmıştır.

2. GÜNIŞIĞI PERFORMANS DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

Günışığının tükenmez bir ışık kaynağı olması ve insan sağlığı açısından olumlu etkileri nedeniyle aydınlatma tasarımındaki önemi giderek artmaktadır. Ancak gün ve yıl içinde sürekli olarak değişmesi ve belirlenememesi gibi özellikleri etkin bir kontrol sistemini gerektirmektedir. Bunun dışında tasarım sürecinde geleceğe yönelik tahmin ve analizlerin yapılması oldukça zordur. Ancak etkin bir aydınlatma tasarımı için günışığı ile aydınlatılan mekânlarda yıl içindeki performansın değerlendirilmesi gerekmektedir. Günışığı performansını değerlendirmeye yönelik geliştirilmiş yöntemler literatürde yer almakta ve kullanılmaktadır. Ancak son yıllara kadar bu ölçütlerin sayısı ve performansı sınırlı kalmış; yıl içindeki uzun saat aralıklarını bina, yerleşim alanı, zaman ve iklim koşullarını göz önüne alan bir karşılaştırma yapılamamıştır [**1**].

Günışığı değerlendirilmesi yapma aydınlatma değerlendirmesinden farklı bir yaklaşım gerektirmektedir. Yapma aydınlatma sisteminde aydınlık düzeyi ve parıltı değerleri performansı karşılaştırmada yeterli olurken; günışığı değerlendirmesinde bahsedilen limit değerler yetersiz kalmakta ve yanlış yönlendirebilmektedir. Günışığı aynı zamanda yıl ve gün içinde sürekli değişim göstermektedir. Farklı gök koşulları ve yıl içindeki farklı zamanlarda mekân içindeki aydınlık düzeyi değişmektedir. Belirli bir zaman periyodunda ortalama aydınlık düzeyi sınırlı bir veri sağlar. Yıllık değerlendirme yöntemleri yıl içinde ne kadar sık bir zaman aralığını kapsarsa o kadar gerçekçi bilgi verir. Böylece enerji korunumunu da göz önüne alan tüm yılı kapsayan performans değerlendirmesi yapmak mümkün olabilir [**1**].

Geçmişte günışığı performansının değerlendirilmesinde statik değerlendirme yöntemleri kullanılmıştır. Ancak bu yöntemlerin direkt güneş ışığını hesaba almaması, kapalı gök modeline göre değerlendirme yapması sebebiyle iklim ve fiziksel çevre koşullarını net yansıtmadığı görülmektedir. Bu eksikten yola çıkarak son yıllarda dinamik değerlendirme yöntemleri önerilmiştir. Dinamik yöntemler iklim etkisi ve güneşin yıl ve gün içindeki konumuna hassasiyet göstermektedir. Kullanılan başlıca statik ve dinamik yöntemler aşağıda sıralanmıştır.

2.1. Statik Yöntemler

Statik günışığı değerlendirme yöntemleri bir mekan içerisindeki günışığı performansını standart gök koşulları altında değerlendiren ve güneşten direkt olarak gelen ışığı hesaba almayan, tek bir durum altında oluşan günışığını değerlendiren yöntemlerdir. Geçmişte günışığı performansını değerlendirmek adına bina tasarım sürecinde değerlendirmeye alınsa da; güneşten gelen direkt ışınları ve yıl içindeki diğer gök koşullarına hassasiyet göstermemesi sebebiyle tam olarak gerçek koşulları yansıtmamaktadır.

Statik yöntem parametreleri: DF Günışığı faktörü (daylight factor), ADF Ortalama günışığı faktörü (average daylight factor), E Aydınlık düzeyi (illuminance level), VH Düşey aydınlık

düzeyinin yatay aydınlık düzeyine oranı (Vertical to Horizontal illuminance) olarak sıralanmaktadır.

Günışığı faktörü, kapalı gök koşulları altında iç mekân aydınlık düzeyinin engelsiz dış ortam yatay aydınlık düzeyine oranıdır ve yüzde olarak ifade edilir. Kapalı gök koşulları altında bir performans değerlendirme sistemi olması sebebiyle en doğru sonuçları genelde kapalı gök koşullarının hakim olduğu iklimlerde verir. Günışığı faktörünün %2 ile %5 arasında olması günışığı aydınlığı açısından yeterli bulunmaktadır. Kapalı gök modeli kabul edilmesi nedeniyle, yıl içindeki günışığı ve gök koşullarına bağlı gerçek aydınlık düzeylerini yansıtmamaktadır [**1**]. Günışığı faktörü, iyi bir doğal aydınlatma tasarımının net ölçütü olarak tanımlanamamaktadır, ancak minimum gereksinimlerin sağlanması durumunu gösterebilir. Bunun yanında, bu yöntem bina şekli, çevre yapılar ve doğal engeller, iç ve dış mekân yüzey özellikleri gibi tasarım değişkenliklerinden etkilenmektedir [**3**]. Günışığının yıl içindeki değişken özelliğini yansıtmadığından elde edilen değerler iklim koşulları, bina yönelimi, gök koşulları, gibi değişkenlere duyarlı değildir. Yıl içindeki değişkenlere bağlı değerlendirme yapan performans değerlendirme yöntemleri çeşitli gök koşullarına göre yıllık bir değerlendirmeyi mümkün kılması sebebiyle tercih edilmektedir. Buna bağlı olarak dinamik değerlendirme metrikleri geliştirilmiştir.

2.2. Dinamik Yöntemler

Yıllık değerlendirme yöntemleri bir yerleşim bölgesindeki dinamik (değişken) koşulları temsili iklim dataları aracılığıyla yansıtan ölçütlerdir [**1**]. Bu yöntemler bina içerisindeki aydınlık düzeylerinin zaman serisindeki ölçütlerine dayanmaktadır [**3**]. Dinamik metriklerin geliştirilmesindeki en önemli etmenlerden biri statik değerlendirme yöntemlerinde iklimsel ve fiziksel çevre değişkenlerine duyarlı bir yaklaşımın olmamasıdır. Statik günışığı değerlendirme yöntemlerine alternatif olarak önerilen dinamik günışığı değerlendirme sistemleri iklim, yönlenme, gök koşulları gibi değişkenlere bağlı olarak değişen, güneşten gelen direkt ışığı hesaba alan yöntemlerdir. Güneşin yıl ve gün içindeki konumu, bina yönelimi, lokasyonu gibi değişkenler günışığı performansını direkt olarak etkilemektedir. Yıllık meteorolojik verilere göre değişim gösteren gök koşullarına dayanarak aydınlık düzeyi ve parıltı değerleri hesaplanabilmektedir [**2**].

Dinamik yöntem parametreleri: DA Günışığı otonomisi (daylight autonomy), cDA Sürekli günışığı otonomisi (continuous daylight autonomy), DAmax maksimum günışığı otonomisi, sDA Mekansal günışığı otonomisi (spatial daylight autonomy), zDA Bölgesel günışığı otonomisi (zonal daylight autonomy), tDA Zamana bağlı günışığı otonomisi (temporal daylight autonomy), ASE Yıllık güneş ışığı maruziyeti (annual solar/sunlight exposure), UDI Faydalı günışığı aydınlık düzeyi (Useful Daylight Illuminance), Direkt Günışığı Saati (Direct Sunlight Hours), DGI Günışığı kamaşma katsayısı (Daylight glare index), CGI CIE kamaşma katsayısı (CIE glare index), VCP Görsel konfor olasılığı (Visual Comfort Probability), DGP Günışığı kamaşma olasılığı (Daylight Glare Probability), CU Kullanım katsayısı (Coefficient of utilization) olarak sıralanmaktadır.

Dinamik yöntemlerden günışığı otonomisi (DA), mekan içinde sağlanması gereken minimum aydınlık düzeyi gereksiniminin yalnızca günışığı tarafından sağlandığı sürenin yıl içindeki yüzdesidir. Sürekli günışığı otonomisi (cDA) ise, günışığı otonomisinden farklı olarak belli bir zaman aralığında sağlanması gereken minimum aydınlık düzeyinin altında kalınması durumunda

kısmi bir değer tanımlamaktadır. Örneğin hedef aydınlık düzeyinin 500 lux olduğu durumda mekan içinde ortalama 400 lux aydınlık düzeyine ulaşılıyorsa cDA, 0.8 olarak tanımlanır. Bunlara ek olarak maksimum günışığı otonomisi (DAmax) aydınlık düzeyinin çok yüksek değerlere ulaşarak kamaşmaya sebep olacağı konforsuzluk durumlarını tanımlar. DAmax değeri hedef aydınlık düzeyinin 10 katı olarak tanımlanır [**3**]. Bu değeri aşan durumlar konforsuz olarak değerlendirilir.

3. ILIMLI NEMLİ İKLİM BÖLGESİNDE KONUMLANDIRILMIŞ İLKÖĞRETİM OKULU DERSLİĞİNİN GÜNIŞIĞI PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Bu çalışmada ilköğretim okulu binalarında sürdürülebilir aydınlatma sistemi tasarımı yaklaşımının Türkiye koşulları için uygulanması amaçlanmıştır. Milli Eğitim Bakanlığı'nca yayınlanan Eğitim Yapıları Asgari Tasarım Standartları Kılavuzu'nda tanımlanan ilköğretim derslikleri özelliklerine göre optimum ölçülerde derslik modeli oluşturulmuştur [**4**]. Değerlendirilen derslik modeli kılavuzda verilen değerlere göre 30 kişilik olup; 1 öğrenci için minimum 1,6m^2 kullanım alanı sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Derslik 7m x 8m x 3,4 m (h) ölçülerindedir ve sıralar sol taraftan günışığı alacak şekilde tek cephede pencere kullanılmıştır. Pencere alanı kılavuzda verilen taban alanının minimum %25'i kadar saydam yüzey bulundurma maddesine göre düzenlenmiştir. Buna göre verilen minimum değer olan %25'in tek cephede uygulanması halinde hesaplanan %50 ile %55 saydamlık oranları değerlendirilmiştir. Oluşturulan derslik modeli için saydam cephelerin güney, doğu ve batı yönlerinde bulunmaları ve önünde engel olup olmaması durumları göz önüne alınarak öğretim yılını kapsayan simülasyonlar ile günışığı değerlendirmesi yapılmıştır. Değerlendirme yöntemi olarak statik ve dinamik yöntemler kullanılarak yıl içindeki aydınlatma gereksiniminin doğal aydınlatma ile sağlanma durumu ve günışığı performansı değerlendirmesi yapılmıştır. IESNA'da günışığı faktörü için verilen %2 ile %5 aralığının sağlanma durumu değerlendirilmiştir [**1**]. İklimle dengeli eğitim yapılarının tasarımında optimum açıklıkların belirlenmesine yönelik bir rehber oluşturmak amacıyla bu çalışmada örnek olarak Türkiye'deki 5 farklı iklim bölgesinden ılımlı nemli iklime sahip İstanbul ili ele alınmıştır.

3.1. Metodoloji

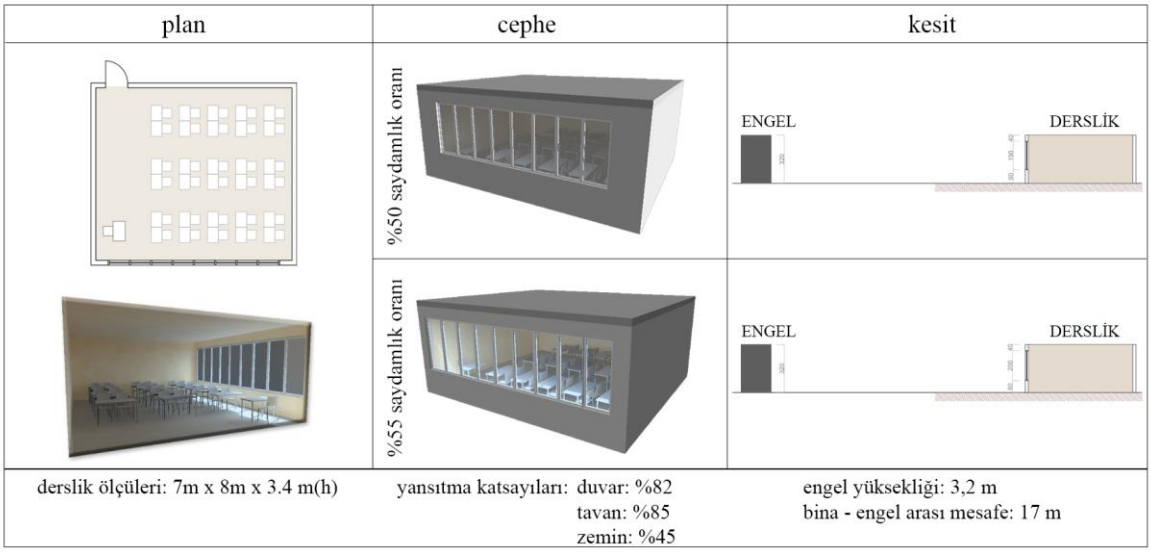
Çalışma kapsamında Dialux Evo 7.1 programı kullanılarak İstanbul ilinde konumlandırılan ilköğretim dersliklerinde görsel konfor koşullarını sağlayan saydam yüzey tasarımına ilişkin verilerin elde edilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca, Milli Eğitim Bakanlığınca yayınlanan klavuzda verilen saydamlık oranının uygunluğu değerlendirilmiştir. Statik yöntemlerden günışığı faktörü ile dinamik yöntemlerden günışığı otonomisi kullanılarak derslik modelinin farklı fiziksel ve çevresel koşullar altındaki günışığı performansı değerlendirilerek yıllık günışığı sağlama oranları araştırılmış; hedef aydınlık düzeyinin aşılması sebepli kamaşma riski açısından değerlendirilmiştir.

Ele alınan derslik modeli, 7m x 8m x 3,4 m (h) ölçülerinde olup, pencerelerde ışık geçirgenliği %79 olan çift cam kullanılmıştır. İç mekan yüzeylerinin ışık yansıtıcılıkları, duvar %82 (açık fildişi), tavan %85 (beyaz), zemin %45 (ipek grisi), olarak belirlenmiş olup; dış engel yüzeyinin ışık yansıtıcılığı %34 (beton), dış zemin ise %38 (parke taşı)'dır. Güney, doğu ve batı olmak üzere üç farklı yönde konumlandırılan saydam cephelerde %50 ve %55 saydamlık oranlarında

alternatifler oluşturulmuş, binanın dışında günışığı girişini engelleyen herhangi bir dış engelin bulunması (engel açısı 5 ^{o}) ve bulunmaması alternatifleri ele alınarak toplam 12 senaryo geliştirilmiştir. Ele alınan senaryolar **Çizelge 1**'de verilmektedir. **Şekil 1**'de ise derslik modelinin fiziksel özellikleri görülmektedir.

Çizelge 1: Alternatif Simülasyon Senaryoları

Tasarım Alternatifi	**A1**	**A2**	**A3**	**A4**	**A5**	**A6**	**A7**	**A8**	**A9**	**A10**	**A11**	**A12**
Yön	Güney	Doğu	Batı	Güney	Doğu	Batı	Güney	Doğu	Batı	Güney	Doğu	Batı
Engel Durumu	Engelsiz Durum	Engelsiz Durum	Engelsiz Durum	Engelli Durum	Engelli Durum	Engelli Durum	Engelsiz Durum	Engelsiz Durum	Engelsiz Durum	Engelli Durum	Engelli Durum	Engelli Durum
Saydamlık Oranı	%50 S.O	%50 S.O	%50 S.O	%50 S.O	%50 S.O	%50 S.O	%55 S.O	%55 S.O	%55 S.O	%55 S.O	%55 S.O	%55 S.O



Şekil 1: Oluşturulan Derslik Modeli ve Doğal Aydınlatma Sistemine İlişkin Bilgiler

Yıllık günışığı performans değerlendirmesinin gerçeği yansıtacak şekilde yapılabilmesi için yıl içindeki her gün ve saate yönelik aydınlatma simülasyonlarının yapılması gerekmektedir. Bunun için yıl içindeki kullanım zamanlarını tanımlayan temsili gün ve saatler seçilmiştir. Değerlendirmeler için 2017-2018 öğretim yılı alınmış olup, hafta sonu ve diğer tatil günleri çıkarılarak eğitim günleri tanımlanmış; buna göre yıllık toplam çalışma saati hesaplanmıştır. Bu kapsamda Kasım, Aralık, Ocak ayları için 15 Aralık; Şubat, Mart, Nisan, Eylül, Ekim ayları için 15 Mart; Mayıs ve Haziran ayları için 15 Haziran temsili günleri ile 09.00, 12.00 ve 15.00 çalışma saatleri seçilmiştir. Ele alınan gün ve saatlerde İstanbul için geçerli gök koşulları, önceki çalışmalarda belirlendiği şekilde kabul edilmiştir [**5**].

3.2. Hesaplamalar ve Sonuçları

Türkiye'de ılımlı nemli iklimi temsilen İstanbul'da konumlanmış derslik modeli üzerinde yapılan günışığı simülasyonları sonucunda DF, cDA ve DA_{max} değerleri ile aydınlık düzeyi eğrilerine ulaşılmıştır. İlköğretim binasının 2017-2018 öğretim yılı çalışma saatleri esas alınarak temsili

olarak belirlenen tarih ve saatler için elde edilen değerlerin **Çizelge 2**'de verilen zaman aralıklarını kapsadığı kabul edilmiştir. Buna göre yıl içindeki toplam çalışma süresi içinde sadece günışığı ile yeterli aydınlığın sağlanabildiği sürenin tüm yıl çalışma saatine oranı hesaplanmıştır. Simülasyonlarda kullanılan gök modelleri **Çizelge 2**'de verilmektedir [**5**].

Çizelge 2: 2017-2018 Öğretim Yılı İçin Toplam İş Günü ve Saatleri, Simülasyonlarda Kullanılan Gök Modelleri

Tarih	Saat	Gök Modeli	Temisili Ay	Temisili Saat Aralığı	Temisili İş Günü Sayısı	Toplam İş Günü	Temisili Toplam Saat
15 Aralık	09.00	Kapalı Gök	Kasım- Aralık- Ocak	08.00-09.00-10.00	22+21+14	57	171
15 Aralık	12.00	Ortalama Gök	Kasım- Aralık- Ocak	11.00-12.00-13.00	22+21+14	57	171
15 Aralık	15.00	Kapalı Gök	Kasım- Aralık- Ocak	14.00-15.00-16.00	22+21+14	57	171
15 Mart	09.00	Kapalı Gök	Şubat- Mart- Nisan Eylül- Ekim	08.00-09.00-10.00	18+22+20+10+22	92	276
15 Mart	12.00	Ortalama Gök	Şubat- Mart- Nisan Eylül- Ekim	11.00-12.00-13.00	18+22+20+10+22	92	276
15 Mart	15.00	Kapalı Gök	Şubat- Mart- Nisan Eylül- Ekim	14.00-15.00-16.00	18+22+20+10+22	92	276
15 Haziran	09.00	Ortalama Gök	Mayıs- Haziran	08.00-09.00-10.00	22+6	28	84
16 Haziran	12.00	Açık Gök	Mayıs- Haziran	11.00-12.00-13.00	22+6	28	84
17 Haziran	15.00	Ortalama Gök	Mayıs- Haziran	14.00-15.00-16.00	22+6	28	84
Toplam Çalışma Saati:							1593

Çizelge 3'te ise İstanbul ili batı cephesinde %50 saydamlık oranına sahip A3 alternatifinde 15 Aralık sabah ve öğleden sonra saatleri için yapılan simülasyonlar sonucu elde edilen günışığı dağılımının izolux değer eğrileri ile gösterimi ve derslik kesiti üzerinde ışık dağılımı görülmektedir. Değerlendirmede, çalışma düzlemi üzerinde ortalama 300 lux aydınlık düzeyinin sağlanması öngörülmüştür. Grafiklerde aydınlık düzeyi eğrileri 50, 100, 200, 300, 500, 1000, 2000 ve 3000 lux değerlerini ifade edecek biçimde ayarlanmıştır. Buna göre batı cephesinin saydam olması durumunda kış aylarını temsil eden 15 Aralık tarihi için öğleden sonra sağlanan aydınlık düzeyinin sabah saatlerine oranla daha yüksek olduğu görülmektedir.

Oluşturulan 12 senaryonun IESNA'da derslikler için tanımlanan ortalama 300 lux aydınlık düzeyini temsili tarih ve saatlerde sağlama oranı hesaplanmıştır. Bu değer sürekli günışığı otonomisini (cDA) vermektedir. cDA değeri, mekan içinde sağlanan ortalama aydınlık düzeyi, hedeflenen ortalama aydınlık düzeyi 300 lux'e bölünerek elde edilmiştir.

Alternatiflere ilişkin sonuçlar incelendiğinde, kış aylarını temsil eden 15 Aralık günü sabah saatlerinde tüm senaryolarda ortalama aydınlık düzeyi 300 lux'ün sağlanamadığı görülmektedir. Saydamlık oranının %50 olduğu A1, A2, A3, A4, A5, A6 alternatifleri için 15 Mart sabah saatlerinde de 300 lux ortalama aydınlık düzeyinin günışığı ile sağlanabilme oranı düşüktür. A9 ve A12 alternatiflerinde 15 Aralık saat 9.00'da olduğu gibi saat 15.00'te de 300 lux değerinin günışığı ile sağlanamadığı görülmektedir. **Çizelge 4** incelendiğinde, kış aylarında sabah saatleri dışında hesaplanan cDA değerlerinin 1 veya 1'e yakın olduğu görülmektedir. Sonuç olarak çalışma saatleri içinde hedeflenen günışığı aydınlığının ele alınan alternatiflerde büyük oranda sağlanabildiği görülmektedir.

Çizelge 3: Batı Cephesi 15 Aralık Tarihi 09.00 ve 15.00 saatleri İçin Günışığı Dağılımı Gösterimi



Çizelge 4: Yıl İçinde Hedef Aydınlık Düzeyi Sağlanma Oranları, (cDA) E_{ort} / 300 lux

Tarih, Saat		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
15 Aralık	09.00	0,300	0,300	0,300	0,293	0,293	0,293	0,373	0,373	0,886	0,366	0,366	0,870
15 Aralık	12.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15 Aralık	15.00	1	1	1	1	1	1	1	1	0,873	1	1	0,856
15 Mart	09.00	0,940	0,940	0,940	0,920	0,920	0,920	1	1	1	1	1	1
15 Mart	12.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15 Mart	15.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15 Haziran	09.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15 Haziran	12.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15 Haziran	15.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Çizelge 4'te verilen hedef aydınlık düzeyini sağlama yüzdeleri, temsili tarih ve saatlerin 2017-2018 öğretim yılı içinde kapsadığı toplam çalışma saati ile çarpılarak yıllık günışığı sağlama yüzdeleri hesaplanmıştır. Elde edilen değerlerin toplamı, toplam çalışma saati olan 1593 saat ile oranlanarak 12 adet senaryo için yıllık günışığı sağlama oranlarına ulaşılmıştır.

Ayrıca, sürekli günışığı otonomisi, hedef aydınlık düzeyinin altındaki değerleri günışığının yetersiz olduğu zaman dilimi olarak kabul etmekte, ancak kamaşma ve konforsuzluğa sebep olabilecek yüksek değerleri dikkate almamaktadır. Maksimum günışığı otonomisi (DA_{max}) olarak tanımlanan 3000 lux'ün aşıldığı süreler kamaşma riski açısından hesaplanarak, yıl içinde güneş kontrolü gereken saatlerin tüm çalışma saatlerine oranı çıkarılmıştır. Özellikle öğle saatlerinde güney ve doğu yönlerinde gerçekleşen değerler maksimum aydınlık düzeyi 3000 lux'ün çok üzerindedir. Sabah saatlerinde ise mevsim ve yön farketmeksizin kamaşma riski oluşturabilecek 3000lx değeri aşılmamaktadır.

Çizelge 5'te hesaplanmış olan DF, cDA ve DA_{max} değerleri verilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, günışığı faktörünün (DA) yön, saat ve zamana göre değişmediği; engel durumu

ve saydamlık oranı gibi fiziksel değişkenlere göre farklı değerlere ulaştığı görülmektedir. Elde edilen DF değerleri standartlarda verilen %2 - %5 aralığının içinde yer almaktadır.

Yıl içinde yeterli günışığı sağlanma oranları (cDA) ile günışığının konforsuzluk yaratabilecek yüksek değerlere ulaştığı saatlerin oranları ($DA_{max} \geq 3000$ lux) incelendiğinde, tüm senaryolarda kullanım saatlerinin büyük bir bölümünde (0.909-0.974) günışığının gerekli aydınlık düzeyini sağlayabildiği, ancak günışığı aydınlığının kamaşma riski oluşturabileceği zaman aralığının da oldukça yüksek olduğu (0.225-0.386) görülmektedir. Bu durum, derslik hacimlerinin gerekli dönemlerde güneş kontrolü sistemlerine ihtiyacı olduğunu ve bu sistemlerin günışığı kullanımını optimize edebilecek biçimde kontrol edilmelerinin gerekli olduğunu ortaya çıkartmaktadır.

Çizelge 5: 2017-2018 Öğretim Yılı İçin Alternatif Senaryoların DF, cDA, DAmax≥ 300lux Değerleri

Alternatif No	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
DF	3,730	3,730	3,730	3,620	3,620	3,620	4,500	4,500	4,500	4,400	4,400	4,400
cDA Yıllık Günışığı Sağlanma Oranı	0,914	0,914	0,914	0,909	0,910	0,910	0,932	0,932	0,974	0,931	0,931	0,961
DAmax Yıl İçinde Güneş Kontrolü Gereken Saat Oranı	0,386	0,386	0,225	0,386	0,386	0,225	0,386	0,386	0,225	0,386	0,386	0,225

Sonuçlara bakıldığında günışığı faktörünün saydamlık oranı ve engel açısına göre değişkenlik göstermesi ancak iklim koşullarına ve yönelime duyarlı bir değerlendirme yöntemi olmaması sebebiyle yön, tarih ve saat değişikliklerinde sabit kaldığı görülmektedir. Bu sebeple etkin ve yenilikçi bir değerlendirme ölçütü olmadığı söylenebilir. Ancak, cDA ve DA_{max} yöntemleri yıl içindeki farklı gök koşullarını, mevsimsel ve saatlik değişimleri ve bunların farklı yönlerdeki etkilerini dikkate almakla beraber cDA ortalama değer üzerinden değerlendirme yaptığı için tam olarak gerçek durumu yansıtamamaktadır. Ayrıca ($DA_{max} \geq 3000$ lux) 3000lx üzeri günışığı aydınlığı nedeniyle kamaşma riskinin olması durumunda sadece mekan içinde sağlanan maksimum aydınlık düzeyi alındığından ve ayrıntılı kamaşma analizleri yapılmadığından sonuçların görsel konfor değerlendirmesi açısından yeterli olduğu söylenemez. Bununla birlikte dinamik değerlendirme yöntemleri (cDA, DA_{max}), statik değerlendirme yöntemlerine (DF) oranla bina tasarımına daha fazla yol gösterici nitelikte olup, aydınlatma enerji ihtiyacı konusunda fikir verebilmektedir. Ancak görsel konforun sağlanması konusunda yeterince net sonuçlar sunmamaktadır. Ayrıca **Çizelge 2**'deki kullanım saatleri ve kabul edilen gök koşulları dikkate alındığında kapalı gök ve ortalama gök koşullarının daha uzun sürelerde etkili olduğu, bu nedenle direkt güneş etkisinin sonuçlara etki etmemiş olduğu ortaya çıkmaktadır.

4. SONUÇLAR

Tarihte yapılaşmanın başladığı ilk zamanlardan itibaren yerleşim kararı, bina biçimlendirilmesi ve cephe tasarımında günışığından yararlanma amacı etkin rol oynamıştır. Yıllar içinde teknolojinin gelişmesi ile birlikte elektrik enerjisi yapay aydınlatma amacıyla kullanılmaya başlanmış ve yaygınlaşmıştır. Ancak günümüzde konvansiyonel enerji kaynaklarının tükenmeye başlaması sebebiyle bilinçli tüketimin gerekliliği kabul edilen bir gerçek olmuştur. Bu sebeple günışığının etkin kullanımı ve aydınlatma enerjisi tüketiminin azaltılmasına yönelik çözümlerin

üretilmesi günümüz mimarlığının en önemli hedeflerinden biri haline gelmiştir. Günışığı, tükenmez bir enerji kaynağı olmasının yanında insan sağlığı üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir. Ancak günışığının gün ve yıl içinde saatlere bağlı olarak değişiklik göstermesi zaman zaman yetersiz kalmasına ve kimi zaman ise konforsuzluk derecesinde yüksek düzeylere ulaşmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple günışığı performansının etkin bir şekilde değerlendirilebilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada ilköğretim derslik modeli oluşturulmuş, İstanbul ili için yönelim, engel durumu ve saydamlık oranı değişkenlerine bağlı geliştirilen 12 farklı senaryo için günışığı performans değerlendirmesi yapılarak günışığının etkin kullanılabilmesine ilişkin sonuçlar elde edilmiştir. Bunun yanında, günışığı performansı değerlendirme yöntemlerinden statik ve dinamik yöntemlere ilişkin ele alınan seçenekler simülasyonlar aracılığıyla yapılan hesaplamalara dayanarak karşılaştırılmıştır. Statik yöntemlerden günışığı faktörünün, iklim ve yönelim değişkenlerine duyarlı olmayan bir değerlendirme yöntemi olduğu, bunun yanında dinamik yöntemlerden günışığı otonomisi ve maksimum günışığı otonomisi yöntemlerinin, iklim, yönelim, günışığının yıl içindeki konumu gibi değişkenlere bağlı sonuçlar verdiği ortaya konulmuştur. Dinamik yöntemlerden DA'nın yıllık kullanım saatleri içerisinde günışığının mekânın aydınlatmasına yeterli olup olmadığını değerlendirdiği görülmektedir. cDA yöntemi ile ise bu durum bir orana dönüşerek daha detaylı ve oransal bir sonuca ulaşılmasını sağlamaktadır. Ancak cDA değeri hedef aydınlık düzeyi olan 300 lux'ün aşıldığı zaman aralığını da olumlu olarak kabul etmektedir. Buna karşılık DA_{max} yönteminin ele aldığı biçimde 3000 lux'ün aşıldığı zaman aralığı kamaşma riski oluşturan konforsuzluk durumu olarak tanımlanmalı ve yıllık günışığı yeterliliği aralığından çıkarılmalıdır.

Son olarak; 12 senaryo için de DF'nin yıl içinde istenen değerler arasında olduğu görülmektedir. Yıllık günışığı sağlama oranları da yıl genelinde yüksektir ve günlük ve saatlik farklar olsa da istenen değerin yılın yaklaşık %90'ında sağlandığı görülmektedir. Belirli dönemlerde güneş kontrol önlemleri alınarak derslik modellerinde konforlu ve enerji etkin bir kullanım sağlanabileceği görülmektedir. Değerlendirme yöntemleri karşılaştırıldığında ise dinamik yöntemlerin statik değerlendirme yöntemlerine göre daha güvenilir sonuçlar verdiği söylenebilir. Ancak gerçeğe en yakın sonuçların elde edilebilmesi için simülasyonlarda çeşitli günışığı değerlendirme yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir. Tek başına günışığı otonomisi gerçek durumu tam anlamıyla yansıtmamaktadır. Bunun yanında cDA ve DA_{max} değerleri hesaplanarak oransal bir karşılaştırma yapmak ve çok yüksek değerler sebebiyle konforsuzluk durumlarını göz önüne almak mümkün olmuştur. Buna dayanarak, daha hassas bir performans değerlendirmesi için farklı dinamik yöntemlerin birlikte kullanılmasının gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

1. IESNA. The IESNA Lighting Handbook, Illuminating Engineering Society of North America, New York, (2011).
2. J.,Mardaljevic, L.,Heschong, E.,Lee, "Daylight metrics and energy saving", Lighting Research Technology, Vol:41, (2009), pp: 261-283.
3. C. Reinhart, J. Mardaljevic, Z. Rogers, "Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design", LEUKOS **3**(1), (2006),pp: 7–31.
4. "Eğitim Yapıları Asgari Tasarım Standartları Kılavuzu", T.C. Milli Eğitim Bakanlığı İnşaat ve Emlak Dairesi Başkanlığı, (2015).
5. F. Şener, "Sürdürülebilir Çevre İçin Mimari Aydınlatma Sistemi Tasarımında Kullanılabilecek Bir Yaklaşım", (2014), İstanbul.

3.Ulusal
Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi

10-11 Mayıs 2018
İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul

CAMİLERDE DOĞAL AYDINLATMA DÜZENLERİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Mimar Simay Ataköy[a]
Prof. Dr. Rengin Ünver[b]
YTÜ Mimarlık Fakültesi
Mimarlik Bölümü, Beşiktaş, İstanbul, 34349

ÖZET

Tarih boyunca en önemli mimari eserlerden olan ve Müslümanların toplu olarak ibadet ettikleri cami yapıları için İslam dininin yayılmaya başlamasıyla beraber ilk denemelerin yapıldığı görülmektedir. Camiler, bulundukları bölgenin iklim, topoğrafya ve kültürel özellikleri, inşa edildikleri dönemin yapı malzemesi ve yapım teknolojileri vb. etkenlere bağlı olarak çeşitli biçimlerde üretilmiştir. Yıllar içinde gelişen ve değişen plan şeması, yapı boyutu ve yapı kabuğu düzenleri ile birlikte, pencerelerden giren günışığının oluşturduğu aydınlığın nicelik ve niteliği de değişmiştir. Bu bildiri kapsamında İstanbul'da yer alan, farklı dönemlerde yapılmış ve farklı yapı kabuklarına sahip Kılıç Ali Paşa, Bebek ve Barbaros Camilerinin doğal aydınlık düzeyleri yerinde ölçme yöntemi ile belirlenmiş, sonuçlar karşılaştırılarak günışığının varlığı irdelenmiştir.

Anahtar sözcükler: Dini Yapılar, Cami, Doğal Aydınlatma, Günışığı Aydınlık düzeyi

ABSTRACT

Throughout the history, it has been seen that first attempts for building mosques where Muslims can worship together were started with the spread of Islamic religion. Mosques were built depending on the factors such as climate, topography and cultural characteristics of the region they live in, structre materials and construction technologies for the given time period. Over the years, along with the changing plan schemes, building sizes and building envelope layouts, quantity and quality of sunlight coming through windows have also been changed. In this study, natural lighting conditions of three mosques which were built in different time periods and have different building shells in Istanbul are analyzed vith objective (measurement) methods. Results are compared and evaluated with relevant literature sources.

Key words: Religious Buildings, Mosque, Natural Lighting, Daylight Illuminances

[a] e-posta adresi: simayatakoy@gmail.com
[b] e-posta adresi: runver@yildiz.edu.tr

1.GİRİŞ

Tarih boyunca en önemli mimari yapılardan biri olan, insanların kendi inanışlarına göre, toplu ibadet yaptıkları "dini yapı" ların yapılma amaçları;

- Aynı dine inananları bir arada toplamak,
- İnananların ibadetlerine uygun bir ortam oluşturmak,
- Dinin bilinirliğinin arttırmak, dini yaymak ve gücünün algılanmasını sağlamak

olarak sıralanabilir **[1, 2, 3]**. Dini yapılar, her dinin kendi özelliklerine ve ibadet biçimine bağlı olarak mekan tasarımı ve mimari açılardan ayrımlar gösterir. Örneğin, dini yapı olarak Müslümanlar "Cami"yi, Hıristiyanlar "Kilise"yi, Yahudiler "Sinagog"u kullanır. Bu yapıların konumlandırılmasında en önemli etken olan ve kutsal sayılan odak noktası her dine göre farklılık göstermektedir. Örneğin, camiler Mekke'de bulunan Kâbe'ye, Sinagoglar ise Kudüs'e yönlendirilirken, Kiliselerin Doğu-Batı yönünde planlandığı görülmektedir. Dini yapılarda, ibadet eylemlerinin gerektirdiği, iyi görmeye yönelik görsel konfor koşulları (aydınlığın uygun nicelik ve niteliği) sağlanmalıdır. Ancak, bu tür yapılarda, özellikle aydınlığın özellikleri, kullanıcıların dini, mistik, ruhani duygularını etkilemek, güçlendirmek ve yapının mimari görkemini vurgulamak bakımlarından da çok büyük önem taşır.

Bu bildirinin amacı, farklı mimari öğelere sahip cami yapılarında günışığı kullanımını incelemek ve yapı kabuğu biçimlenmesinin iç mekan doğal aydınlatma koşullarına etkisini ortaya koymaktır. Belirtilen amaca yönelik olarak, önce ilk cami yapısından günümüze kadar olan süreçte, cami – doğal aydınlatma ilişkisinin, gelişen plan şemaları, yapım teknikleri ve yapı kabuğu özellikleri ile ortaya çıkan değişimlerine değinilecektir. Ardından, İstanbul'da yer alan üç farklı tarihsel dönemde yapılmış, farklı büyüklükteki, farklı mimari öğelere sahip üç cami yapısının doğal aydınlatmaya yönelik özellikleri incelenecek ve karşılaştırılacaktır.

2. CAMİLERDE GÖRSEL KONFOR VE DOĞAL AYDINLATMA

İslam dininde ibadet, fiziksel ve zihinsel eylemleri bir arada barındırır. Örneğin, namazın hareketleri fiziksel, dualar ise zihinsel eylemlerdir. Namaz sırasında inananlar imamın fiziksel hareketlerini izler ve yaptıklarını yineler. Camideki eylemler, namaz kılma, dua etme, Kur'an okuma, hutbe, mevlüt dinleme, yıkanma (abdest alma) olarak sıralanabilir **[1,2,3]**. Bu bağlamda, bir camide görsel algılama bakımından önem taşıyan temel eylemler,

- imamın hareketlerinin izlenmesi,
- konuşmacıların (vaiz) görülmesi,
- okuma,
- yıkanma (abdest alma)

gibi dört bölümde toplanabilir. Bunlardan ilk üç eylem, iç mekanın döşemesinin üzerinde ve genelde diz üstü oturularak, hacmin her noktasında gerçekleştirilir. Bu durum, hem döşeme yüzeyinin tümünün "genel" hem de mihrap, mimber gibi alandaki eylemlerin izlenebilmesi "bölgelik" olarak aydınlatılmasını gerekli kılar. Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) ve Society of Light and Lighting (SLL) tarafından belirlenen, camilerde sağlanması gereken aydınlatma koşullarına ilişkin parametreler ve değerleri **Çizelge 1**'de verilmiştir.

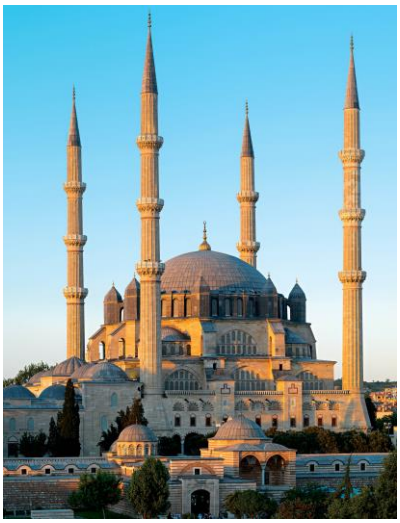
Çizelge 1. Camilerde sağlanması gereken aydınlatma koşulları **[4, 5]**

Eylem Yeri	CIE			SLL			
	Aydınlık düzeyi (Em; lm/m^2)	Kamaşma Değeri (UGR_L)	Renksel Geriverim İndisi (Ra)	Aydınlık düzeyi (Em; lm/m^2)	Kamaşma Değeri (UGR_L)	Renksel Geriverim İndisi (Ra)	Aydınlığın düzgünlüğü (U_o)
Döşeme (yatay)	≥100	25≥	≥80	≥150	22≥	≥80	≥0.4
Mihrap, Minber (düşey)	≥300	22≥	≥80	≥300	22≥	≥90	≥0.6

2.1. Tarihsel Süreçte Cami İç Mekanlarında Doğal Aydınlatma

Osmanlı İmparatorluğu Dönemi'ne kadar, bulundukları coğrafyanın iklim koşullarına, kullanılan malzeme ve yapım tekniklerine bağlı olarak cami yapı kabuğunda önemli değişiklik olmamış, yan pencerelerden içeriye alınan günışığında da büyük değişimler yaşanmamıştır. Zaman içinde daha büyük camiler gündeme gelmiş, üst örtü olarak kubbe kullanılmaya başlamış ve kubbe kasnağındaki pencerelerden mekana daha fazla günışığı alınabilmiştir **[6]**.

Osmanlı İmparatorluğu Dönemi'nde Mimar Sinan, yan duvarlarda zemine yakın olarak konumlandırdığı pencereler ile döşeme üzerinde daha yüksek günışığı aydınlıkları elde etmiş ve kullandığı açık renkli (yansıtma çarpanı yüksek) mermerler ile ortamdaki ışığın daha çok yayınmasını sağlamıştır **(Şekil 1, 2) [7]**.



Şekil 1: Selimiye Cami Dış Görünüşü **[8]**

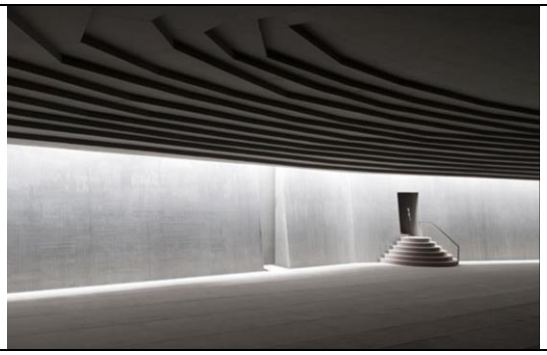


Şekil 2: Selimiye Cami İç Görünüşü **[9]**

Cumhuriyet Dönemi'nin ilk cami örnekleri incelendiğinde, Osmanlı Döneminin dini mimarisinin devam ettirildiği görülmektedir. 20.yy sonlarına gelindiğinde, cami tasarımında değişiklikler başlamış, yapısal öğelere yeni yorumlar getirilmiştir. Bu durum, doğal aydınlatma koşullarını da etkilemiştir.



Şekil 3: TBMM Cami İç Görünüşü **[10]**



Şekil 4: Sancaklar Cami - Kıble Duvarı **[11]**

Örneğin, 1989 yılında tamamlanan Ankara'daki TBMM Camisi'nde mihrap bölümünün tamamen saydam bir malzemeden yapılması ve üst örtü olan piramidal çatıdaki pencereler içeri alınan günışığı arttırmıştır **(Şekil 3)**. Üst kotlardan içeri alınan ışık, kubbeye ihtiyaç olmadığını göstermiş ve Osmanlı'dan beri süregelen iç mekan-ışık ilişkisine yeni bir yorum getirilmiştir.

İstanbul'da 2013 yılında yapılan Sancaklar Camisi'nde ise cami mimarisine yeni bir yorum getirilmiş ve yapıyı tamamen toprak altına gömülmüştür **(Şekil 4)**. Günışığı yapı içine yalnızca mihrap duvarındaki pencerelerden girmektedir. Doğal aydınlık düzeyi düşük tutulan ve yapay aydınlatma ile desteklenen iç mekanda, doğal aydınlatma ile sadece mihrap duvarı vurgulanmış ve bilinçli bir yönelim yaratılmıştır.

3. İNCELENEN CAMİLER VE DOĞAL AYDINLATMA

Camilerin, doğal aydınlatma özelliklerinin incelenmesini hedefleyen bu çalışmada, İstanbul'daki Kılıç Ali Paşa Cami, Bebek Cami ve Barbaros Cami olmak üzere üç cami ele alınmıştır. Değişik zaman dilimlerinde yapılmış, farklı büyüklük ve mimari özelliklere sahip olan camilere ilişkin genel özellikler **Çizelge 2**'de sunulmuştur. 2017 yılının 23Eylül, 26 Ekim, 24 Kasım ve 23 Aralık tarihlerinde öğle saatlerinde, döşeme üzerindeki yatay ve mihrap bölgesindeki düşey günışığı aydınlık düzeyi ölçümleri, yapay aydınlatmalar kapalıyken Krochmann Radiolux 11 aydınlıkölçeri ile yapılmıştır.

Çizelge 2: İncelenen camilere ilişkin genel bilgiler

	Yapım Yılı	İlçe/Semt	Mimar	Yapı Boyutları	İç Yükseklik (maksimum)
Kılıç Ali Paşa Cami	1580	Beyoğlu/ Karaköy	Mimar Sinan	26x32=832 m^2	25 m
Bebek Cami	1912	Beşiktaş/ Bebek	Mimar Kemaleddin	12,5x12,5=156 m^2	11 m
Levazım Cami	2013	Beşiktaş/ Levazım	Ayten Babaoğlu	17x13=221 m^2	10 m

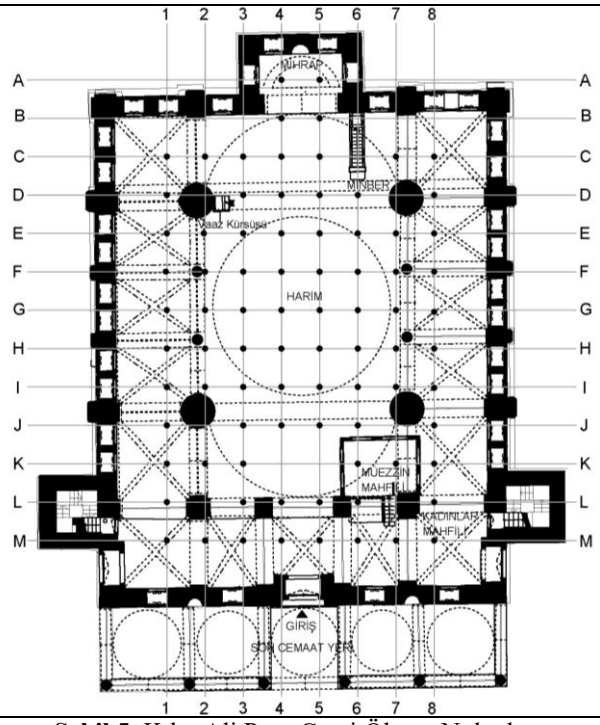
3.1 Kılıç Ali Paşa Cami Doğal Aydınlatma Düzeni

İstanbul Beyoğlu ilçesinde yer alan ve Osmanlı İmparatorluğu Dönemi'nde inşa edilen Kılıç Ali Paşa Cami, Kaptan-ı Derya Kılıç Ali Paşa tarafından 1580 yılında, Mimar Sinan'a yaptırılmıştır **[12]**. Yığma yapı olarak inşa edilen camide küfeki taşı kullanılmıştır.

Caminin ana mekanı dikdörtgen biçiminde olup biri son cemaat bölümünden, diğeri kadınlar mahfilinden olmak üzere iki girişi bulunmaktadır. Mihrap bir yarım kubbe ile örtülü, Mekke'ye yönelmiş ileri taşan bir çıkıntının içindedir. Ana mekandaki dört ana kolonun taşıdığı dört kemerin üstünde ise geçişi pandantiflerle olan 12.7 m çapındaki pencereli ve kasnaklı merkezi bir kubbe bulunur. Kubbenin kuzey ve güneyinde iki yarım kubbe, güneydeki yarım kubbenin arkasında mihrabı örten bir kubbe daha bulunur. Galeriler, merkez alanı üç taraftan çevrelemektedir. Tek minareli olan bu caminin döşeme alanı yaklaşık 26x32=832 m^2, yüksekliği ise 25 m'dir. Mekan yüzeyleri kırmızı ve mavi renkli motifler ve İznik çinileri ile kaplanmıştır. Duvarların ortalama ışık yansıtma çarpanı % 42, döşeme halısının ise yaklaşık % 22'dir.

Doğal ışık, 6 ayrı kotta yer alan değişik özelliklerdeki toplam 219 pencereden içeriye girmektedir. Bunlardan 24 ü ana kubbe, 26 si yarım kubbelerde ve 159 u beden duvarlarındadır. İlk kottaki pencerelerin boyutları 1.1x1.8 m ve parapet yüksekliği 0.45 m olup pencerelerde tek tabakalı düzgün geçme (t=~%75) yapan cam ve arkasında demir parmaklık bulunmaktadır. Diğer pencerelerde ışık geçirme çarpanı yaklaşık %50 olan vitraylar ve pencerelerin arkasında delikli alçı elemanlar yer almaktadır.

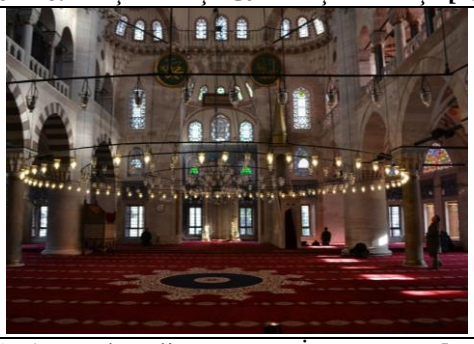
Çok kubbeli Kılıç Ali Paşa Camisi döşeme üzeri yatay aydınlık düzeyi ölçme noktaları **Şekil 5**'te, caminin dış ve iç görünüşleri **Şekil 6** ve **7**'de sunulmuş ve aydınlık düzeyi ölçme sonuçları **Çizelge 3**'te örneklenmiştir. Yapının saydamlık oranı % 15'tir.



Şekil 5. Kılıç Ali Paşa Cami Ölçme Noktaları



Şekil 6. Kılıç Ali Paşa Cami Dış Görünüşü **[13]**



Şekil 7. Kılıç Ali Paşa Cami İç Görünüşü **[14]**

Çizelge 3. Kılıç Ali Paşa Cami Günışığı Aydınlık Düzeyi Ölçme Sonuçları (lm/m^2)

23 EYLÜL 2017 Saat: 14.00-14.30 / Açık Gök									**23 ARALIK 2017Saat: 13.00-13.30 / Bulutlu Gök**								
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
A	-	-	-	270	255	-	-	-	**A**	-	-	-	23	19	-	-	-
B	-	-	-	137	122	-	-	-	**B**	-	-	-	13	12	-	-	-
C	304	220	117	70	60	-	137	358	**C**	26	14	9	4	5	-	6	31
D	352	-	113	89	81	98	-	350	**D**	21	-	7	4	5	5	-	28
E	405	200	111	108	103	105	220	345	**E**	16	10	5	5	5	6	17	25
F	460	251	114	101	103	110	212	312	**F**	18	11	5	5	5	5	15	21
G	550	305	117	98	102	130	208	280	**G**	20	14	5	5	5	5	10	15
H	384	228	101	89	95	111	214	315	**H**	17	10	5	5	5	5	8	12
I	218	151	85	80	87	92	221	350	**I**	18	9	5	5	5	5	9	12
J	204	-	77	68	66	58	-	272	**J**	16	-	4	4	4	4	-	11
K	190	118	68	59	45	25	115	205	**K**	12	9	7	6	5	0,5	7	12
L	55	-	46	44	36	28	-	60	**L**	5	-	3	3	3	1,2	-	4
M	18	21	27	29	29	31	33	35	**M**	0,5	0,5	1	1	1	1,8	1	0,5
Em : 170,74					**U_o** : 0,11				**Em :** 9,71					**U_o** : 0,05			
Mihrap Önü Düşey Aydınlık Düzeyi (h:1.20 m) : 125									**Mihrap Önü** Düşey Aydınlık Düzeyi (h:1.20 m) : 45								

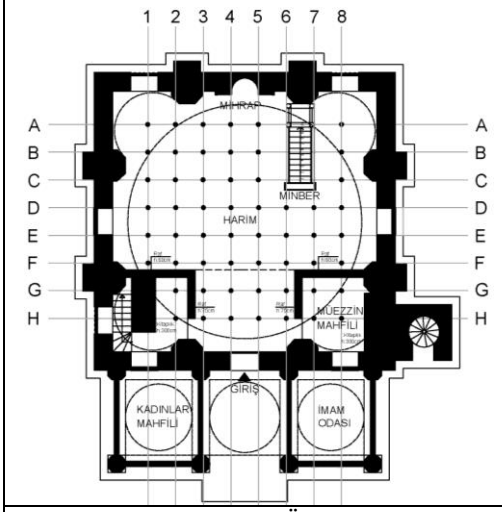
3.2. Bebek Cami Doğal Aydınlatma Düzeni

İstanbul Beşiktaş ilçesi, Cevdet Paşa Caddesi'nin kıyı tarafında yer alan Bebek Cami, Mimar Kemaleddin tarafından 1912 yılında yapılmıştır. Kesme küfeki taşından yığma yapı olarak inşa edilen cami, alçak duvarlı bir avlu içinde yer almaktadır **[15]**.

Kare planlı caminin, üç açıklıklı son cemaat yerinden girişi bulunmaktadır. Girişin hemen karşısında Mihrap, onun yanında ahşap Minber yer almaktadır. İç mekandaki yarım sekizgen şeklindeki kolonların taşıdığı sekiz sivri kemerin üstünde 9,4 m çapındaki pencereli merkezi bir kubbe ve dört köşede bu kubbeyi destekleyen yarım kubbeler bulunmaktadır. Giriş bölümünün sağ ve sol taraflarında, ana döşemeden 20 cm yukarıda, ahşap korkuluklarla çevrilmiş müezzin mahfilleri bulunmaktadır. Tek minareli olan bu caminin döşeme alanı yaklaşık 12,5x12,5=156 m^2, iç yüksekliği ise 11 m'dir. Mekan yüzeyleri açık yeşil renk boyalı duvarların ortalama ışık yansıtma çarpanı % 59, döşeme halısının ise yaklaşık % 22'dir.

Doğal ışık, yapı kabuğunda 3 farklı kotta yer alan değişik özelliklerdeki toplam 34 pencereden içeriye girmektedir. Zemin kotta, toplamda 6 adet olan pencerelerin boyutları 1,10x1,70 m ve parapet yüksekliği 0.40 m olup pencerelerde tek tabakalı düzgün geçme (t=~%75) yapan cam ve demir parmaklık bulunmaktadır. Kubbeyi taşıyan kemerlerde, 0,60x1,50 m boyutlarında 4 adet, 0,60x1,00 m boyutlarında 8 adet ve kubbe kasnağında 1,00x0,60 m boyutlarında 16 adet olan pencerelerde, firuze renkli camlarla çevrili tek tabakalı düzgün geçme (t=~%50) yapan cam ve bu pencerelerin arkasında delikli alçı elemanlar yer almaktadır.

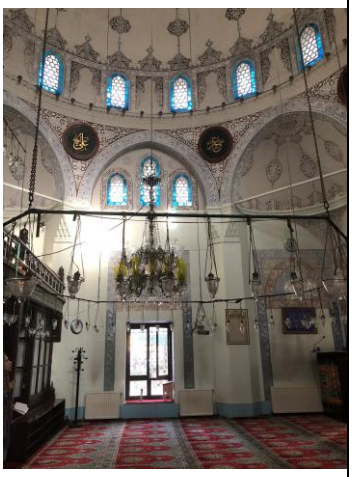
Tek kubbeli, kare planlı Bebek Camisi döşeme üzeri yatay aydınlık düzeyi ölçme noktaları **Şekil 8'**de, caminin dış ve iç görünüşleri **Şekil 9** ve **10**'da sunulmuş ve aydınlık düzeyi ölçme sonuçları **Çizelge 4**'te örneklenmiştir. Yapının saydamlık oranı % 07'dir.



Şekil 8. Bebek Cami Ölçme Noktaları



Şekil 9. Bebek Cami Dış Görünüşü **[14]**



Şekil 10. Bebek Cami İç Görünüşü **[14]**

Çizelge 4. Bebek Cami Günışığı Aydınlık Düzeyi Ölçme Sonuçları (lm/m^2)

23 EYLÜL 2017 Saat: 13.00-13.30 / Açık Gök									**24 ARALIK 2017 Saat: 12.30-13.00/ Bulutlu Gök**								
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
A	8	16	25	21	17	-	-	170	**A**	16	21	23	18	16	-	-	170
B	10	22	33	28	19	-	-		**B**	19	25	32	21	17	-	-	105
C	15	31	50	35	20	-	-	105	**C**	24	37	45	24	20	-	-	45
D	170	117	65	32	28	30	47	65	**D**	102	65	32	32	29	40	59	95
E	175	115	55	27	25	26	27	30	**E**	100	49	29	30	27	35	57	90
F	25	28	32	26	24	22	18	13	**F**	33	25	20	27	24	25	32	37
G	-	19	23	53	61	19	15	10	**G**	-	24	22	25	19	21	20	22
H	-	11	15	85	72	17	13	8	**H**	-	18	25	17	15	19	15	11
Em : 45,31					**U_o** : 0,18				**Em :** 32,81					**U_o** : 0,34			
Mihrap Önü Düşey Aydınlık Düzeyi (h:1.20 m): 97									**Mihrap Önü** Düşey Aydınlık Düzeyi (h:1.20 m) : 55								

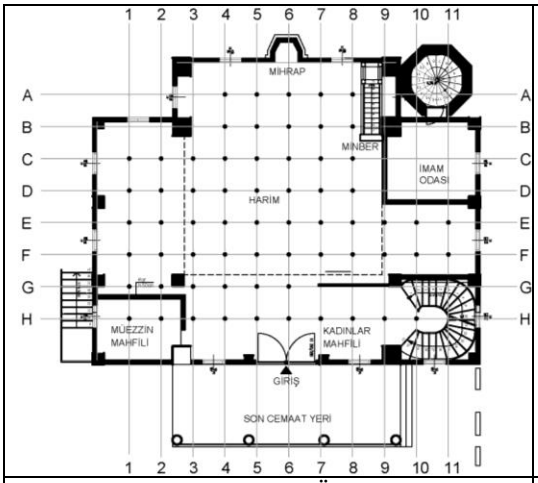
3.3. Barbaros Cami Doğal Aydınlatma Düzeni

Barbaros Cami, İstanbul Beşiktaş ilçesi Levazım semtinde, Yasemin Sokak'ta yer almaktadır. 2013 yılında betonarme olarak inşa edilen ve cephesinde traverten taşı kullanılan caminin Mimarı Ayten Babaoğlu'dur.

Caminin ana mekanı dikdörtgen planlı olup, camiye giriş son cemaat yerindendir. Girişin karşısında, iç tarafı ahşap kaplı dışarı doğru taşan bir çıkıntının içinde Mihrap, onun yanında ahşap Minber yer almaktadır. Mihrap duvarı hariç, merkez alanı üç taraftan çevreleyen, zemin kotundan 4 m yükseklikte üst mahfil bölümü bulunmaktadır. Cami, dört kolonun taşıdığı 10x10=100 m^2 boyutlarında düz bir üst örtüye sahiptir. Tek minareli olan bu caminin döşeme alanı yaklaşık 17x13=221 m^2, iç yüksekliği ise 10 m'dir. Mekan yüzeyleri beyaz renkli olup

duvarların ortalama ışık yansıtma çarpanı % 76, döşeme halısının ise yaklaşık % 57'dir. Yapının her cephesinde parapet yüksekliği 0,90 m olan 1,00x2,30 m boyutlarında 14 adet pencere bulunmaktadır. Mihrabın iki yanında yer alan pencerelerde, ışık geçirme çarpanı yaklaşık %35 vitraylar, geri kalan on adet pencerede yayınık geçme yapan buzlu cam (t=~%55) ve demir parmaklık bulunmaktadır.

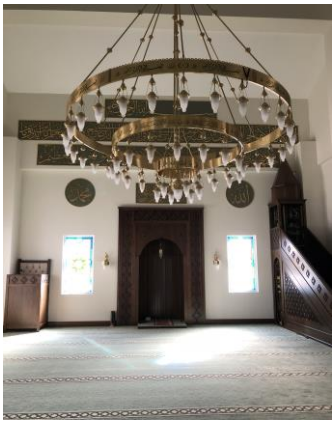
Kırma çatılı camide, döşeme üzeri yatay aydınlık düzeyi ölçme noktaları **Şekil 11**'de, caminin dış ve iç görünüşleri **Şekil 12** ve **13**'de sunulmuş ve aydınlık düzeyi ölçme sonuçları **Çizelge 5**'te örneklenmiştir. Yapının saydamlık oranı % 07'dir.



Şekil 11. Barbaros Cami Ölçme Noktaları



Şekil 12. Barbaros Cami Dış Görünüşü **[12]**



Şekil 13. Barbaros Cami İç Görünüşü **[12]**

Çizelge 5. Barbaros Cami Günışığı Aydınlık Düzeyi Ölçme Sonuçları (lm/m^2)

24 EYLÜL 2017 Saat: 13.00-13.30 / Açık Gök											
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
A	-	-	-	390	292	205	227	250	-	-	-
B	-	-	-	255	211	165	157	205	-	-	-
C	388	312	205	129	125	123	135	156	-	-	-
D	301	265	185	125	115	110	125	145	-	-	-
E	215	247	179	130	108	95	107	162	197	432	582
F	230	194	175	145	100	84	91	100	225	450	610
G	235	187	148	120	92	77	-	-	-	-	-
H	248	182	128	95	82	70	101	135	410	627	710
Em : 236,94						**U_o** : 0,30					
Mihrap Önü Düşey Aydınlık Düzeyi (h:1.20 m): 85											

24 ARALIK 2017 Saat: 13.00-13.30 / Açık Gök											
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
A	-	-	-	1286	887	497	602	750	-	-	-
B	-	-	-	805	715	635	567	517	-	-	-
C	646	582	395	324	562	799	532	285	-	-	-
D	478	425	305	245	367	452	327	175	-	-	-
E	311	285	216	193	162	145	122	105	162	197	220
F	323	297	235	200	178	150	133	116	169	203	240
G	250	226	182	164	135	105	-	-	-	-	-
H	178	155	137	128	92	75	87	100	165	251	303
Em : 376,47						**U_o** : 0,20					
Mihrap Önü Düşey Aydınlık Düzeyi (h:1.20 m): 105											

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu bildiride, 2017 yılındaki dört farklı tarihte Kılıç Ali Paşa Cami, Bebek Cami ve Barboros Cami'lerindeki doğal aydınlatma düzenlerinin oluşturduğu koşulların saptanmasını hedefleyen bir araştırmanın ön sonuçları aktarılmıştır. Nesnel değerlendirmeler için Tablo 1'deki Society of Light and Lighting (SLL) tarafından belirlenen değerler göz önüne alınmıştır. Değerlendirmeler, yılın iki tipik günü (21 Eylül ve 23 Aralık) için kısaca aşağıda verilmiştir..

- Kılıç Ali Paşa Cami'sinde 23 Eylül açık gök durumunda döşeme üzeri ortalama aydınlık düzeyi (Em) 170 lm/m^2, aydınlığın düzgünlüğü (U_o) ise 0,11'dir. Önerilen değerler açısından, döşeme yüzeyi yatay aydınlık düzeyi yeterli ama düzgün dağılım açısından yetersizdir. 23 Aralık bulutlu gök durumunda ise, hem ortalama aydınlık düzeyi hem de aydınlığın düzgünlüğü (Em:9,71 lm/m^2, U_o:0,05) açısından gerekli değerler sağlanamamaktadır. Her iki tarihte, mihrap önü düşey aydınlık düzeyi ölçme sonuçlarına bakıldığında ise değerlerin yetersiz olduğu saptanmıştır. Genel olarak zemine yakın pencerelerden gelen günışığının, pencere önündeki döşeme yüzeyinde yüksek bir aydınlık sağladığı, ancak caminin merkezine doğru gidildikçe bu değerin düştüğü görülmüştür. Merkezi kubbe altındaki ölçme sonuçları, aydınlık düzeyi değerlerinin birbirine yakın olduğunu ve kubbe altı pencerelerden gelen ışığın döşeme yüzeyinde düzgün dağılmış bir aydınlık düzeyi yarattığını ortaya koymuştur.

- Bebek Cami'sinde 23 Eylül açık gök durumunda yapılan ölçmede döşeme üzerindeki ortalama aydınlık düzeyi (Em) 45,31 lm/m^2, düzgün dağılım oranı (Uo) ise 0,18'dir. 24 Aralık bulutlu gök durumunda ise döşeme üzerindeki ortalama aydınlık düzeyi (Em) 32,81 lm/m^2, düzgün dağılım oranı (Uo) ise 0,34'dir. İlgili literatürdeki önerilen değerlere bakıldığında hem mihrap önü düşey aydınlık düzeyi hem de döşeme yüzeyindeki aydınlık düzeyi ve düzgün dağılımı açısından yetersiz olduğu belirlenmiştir. Tek kubbe altında yer alan kare planlı döşeme yüzeyindeki ölçme sonuçları birbirine yakın değerlerdedir. Toplamda altı adet olan zemin kot pencerelerinden, dördünün önüne klima, tabure vb. eşyalar konarak kapatılmış, pencere önü döşeme üzerinde aydınlığın azalmasına dolayısıyla iç mekandaki ortalama aydınlık düzeyinin düşmesine neden olmuştur.

- Barbaros Cami için döşeme üzerindeki ortalama aydınlık düzeyi (Em) ve düzgün dağılım oranları (Uo) 24 Eylül'de 236,94 lm/m^2 ve 0,30, 24 Aralık'ta 376,47 lm/m^2 ve 0,20'dir. Mihrap önü düşey aydınlık düzeyleri ise sırasıyla, 85 ve 105 lm/m^2 olarak ölçülmüştür. Tüm sonuçlara bakıldığında, döşeme üzerinde aydınlık düzeyinin standartlara uygun olduğu, ancak düşey aydınlık düzeyi ve dağılım düzgünlüğü açısından yetersiz olduğu saptanmıştır.

Yukarıdaki açıklamalardan anlaşılacağı üzere, açık gök koşullarında (23 Eylül) Kılıç Ali Paşa Cami ve Barbaros Cami'sinde döşeme üzeri yatay aydınlatma düzeyi (Em) yeterlidir. Ancak aydınlığın düzgünlüğü (U_o) ve düşey aydınlık düzeyleri açısından üç camide de gerekli koşullar sağlanamamaktadır. Çalışma kapsamında yapılan ölçme ve belirlemeler doğrultusunda,

1. Zemin pencerelerinin yerden uzaklığının, iç mekana alınan günışığında rol oynadığı,
2. İç yüzeylerin ve döşeme yansıtma çarpanlarının, yansışmış ışık niceliğini etkilediği,
3. Yapı iç yüksekliklerinin, günışığın iç mekanda dağılımını etkilediği,
4. Yapı kabuğundaki saydam alanların, ışığın düzgün dağılımında rol oynadığı belirlenmiştir.

Camilerde yapılan eylemlere uygun görsel konfor koşullarının ibadetin gerçekleştirilebilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, yapı kabuğundaki saydam alanlardan giren doğal ışık niceliğinin yetersiz olduğu durumlar, günışığının var olduğu saatlerde de yapay ışık kullanımını zorunlu kılmaktadır. Nitekim incelenen camilerde genelde doğal ve yapay ışığın birlikte, yani bütünleşik aydınlatmanın kullanıldığı belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

1. R. Ünver, D. Enarun, "Lighting of mosques, a historical overview", CIBSE National Lighting Conference 1998, Lancester-England, (1998), pp. 3-11.

2. R. Ünver, D. Enarun, "A comparative investigation of lighting of mosques and churches in İstanbul", 24Th. Session of the CIE, CIE Publication No. 133, ISBN: 3 900 734 93 3, Varşova-Poland, (1999), pp. 288-292.

3. R. Ünver, "Aydınlatma ve dini yapılar", Tasarım Dergisi, Sayı:102, (2000), pp: 138-145.

4. International Standards Organization. ISO 8995-1:2002(E)/CIE S 008/E:2001. Lighting of Work Places – Part 1: Indoor. Geneva: ISO, (2001).

5. The Society of Light and Lighting. Lighting Guide 13. Lighting for Places of Worship.London: CIBSE, (2014).

6. O. Bolak, "Camilerin Aydınlatılması Üzerine Bir Araştırma", İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik–Mimarlık Fakültesi Yayınları, İstanbul, (1967)

7. E. Çoruh, "19. Yüzyıl İstanbul cami mimarisinde ışık – mekân – cephe ilişkisi üzerine bir araştırma", Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, (2013), pp: 47.

8. https://www.sondakika.com/fotogaleri/selimiye-cami-nin-manevi-sifreleri/ (erişim 28.02.2018)

9. http://www.gateofturkey.com/section/en/628/7/culture-and-art-architecture-ottoman-architecture-works-of-sinan-the-architect (erişim 28.02.2018)

10. http://www.arkitera.com/galeri/detay/220048/21/Proje/1815 (erişim 28.02.2018)

11. https://www.archdaily.com/516205/sancaklar-mosque-emre-arolat-architects/539a9dcac07a80569e000840-sancaklar-mosque-emre-arolat-architects-photo (erişim 28.02.2018)

12. T. Öz, "İstanbul camileri I-II", Türk Tarih Kurumu, (2016), pp: 49

13.http://filipdemuinck-kristelpardon.blogspot.com.tr/2013/05/the-tomb-of-kilic-ali-pasa-and-his.html (erişim 28.02.2018)

14. S.Ataköy, Fotoğraf Arşivi, 2017

15. Y. Yavuz, "İmparatorluktan Cumhuriyete Mimar Kemaleddin: 1870-1927", Vakıflar Genel Müdürlüğü, (2009) pp: 141.

3.Ulusal
Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi

10-11 Mayıs 2018
İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul

YEMEKHANELERDE AKUSTİK KONFOR DEĞERLENDİRMESİ - BİR ÖRNEK ÇALIŞMA

Dr. Öğr. Üyesi Konca Şaher[a]
Yalın Özgencil[b]
Kerem Özmen[c]
Kadir Has Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi
Cibali, İstanbul, 34083

ÖZET

Bu bildiri kapsamında kullanıcılardan gelen yoğun şikayet üzerine İstanbul'da büyük bir plazanın yemekhanesindeki akustik kalite değerlendirilmiş ve akustik konforun sağlanmasına yönelik alınması gereken önlemlerin somut olarak ortaya konulmasına çalışılmıştır. Yemekhanede varolan durumun bir değerlendirmesini yapabilmek için öncelikle yemekhane kullanıcıları ile bir memnuniyet anketi yapılmış ve kullanıcılardan mekandaki ses kalitesi, gürültü düzeyi ve konuşma anlaşılabilirliğini değerlendirmeleri istenmiştir. Daha sonra mekanda varolan durumdaki çınlama süresi değerleri ölçülmüştür. Akustik ölçümleri takiben çınlama süresini azaltmak amacıyla iç mimari tasarımla da uyumlu olacak yutucu malzeme kullanımını içeren yeni tasarımlar geliştirilmiştir. Bu tasarımları geliştirmek için öncelikle saha ölçüm verilerine dayanarak güncel durum akustik modeli üretilmiş; model üzerinden, bilgisayar benzetimleri ile yemekhane için iç mimari konseptle uyumlu yeni tasarımlar üretilmiştir. Daha sonra seçilen tasarımdaki yutucu malzemelerin montajından sonra akustik ölçümler tekrarlanmış ve kullanıcılarla yeni bir memnuniyet anketi yapılmıştır. Akustik ölçümler sonucu 3.12 saniye (1000 Hz) civarında olan çınlama süresi yeni tasarımda 1.81 saniye (1000 Hz) düzeylerine inmiş; tüm yüzeylerde daha homojen bir ses yayılımı sağlanmıştır. Akustik ölçümler ile çınlama süresi gibi ölçülebilen parametereler ortaya konmakta ancak bu parameterelerin insan algısı ile olan ilişkisini kurabilmek için kullanıcılar ile yapılan değerlendirmeler de önemli olmaktadır. Yutucu yüzeylerin montajından sonra yapılan memnuniyet testi sonuçları beklentiler doğrultusunda ilk durumdan iyileşmeyi olumlamaktadır.

Anahtar sözcükler: Yemekhane gürültüsü, Akustik ölçüm, Akustik simülasyon, Ses yutucu paneller

ABSTRACT

This paper examines the acoustical quality in a cafeteria of a high rise office tower in İstanbul due to intense complaints from the users. The current acoustic quality was examined by interviews with the people who have their lunch regularly in the cafeteria and then reverberation time measurements in the cafeteria were done. Following the acoustic measurements, new designs were developed that incorporate the use of absorbent panels that are compatible with the interior design. In order to develop these designs, firstly, an acoustic model of the current state was developed based on the measurement data; then a new acoustic model with acoustic treatment was developed. After the installation of the acoustic absorbers, the reverberation time measurements were repeated and a new user survey was conducted. Acoustic measurements resulted in a reverberation time of around 1.81 seconds (1000 Hz) in the new design; a major decrease from 3.12 seconds (1000 Hz) of the previous state. Moreover, a more uniform sound emission was achieved on all surfaces. New interviews were made with the users to evaluate the new design and establish the relationship between objective parameters and user perception. The results verified the improvement in the user satisfaction in terms of acoustical quality as expected.

Key words: Cafeteria noise, Acoustic measurement, Acoustic simulations, Acoustic absorbers

[a] e-posta adresi: konca.saher@khas.edu.tr
[b] e-posta adresi: yalin.ozgencil@gmail.com
[c] e-posta adresi: kerem@feltouch.com

1. GİRİŞ

Ortak kullanılan alanlarda akustik konfor kişilerin mekandan duydukları memnuniyet açısından önemli ve belirleyici bir parametre olmaktadır. Bu açıdan ses seviyelerinin genelikle yüksek olduğu yemekhanelerdeki akustik konfor da mekanın mimari ve iç mimari özellikleri kadar kullanıcı memnuniyetini etkileyen önemli faktörlerden biri olmaktadır. Genellikle tasarım aşamasında çok fazla hesaba katılmayan akustik konfor kriteri mekan kullanılmaya başlandıktan sonra kullanıcı şikayetleri nedeniyle yeniden ortaya çıkabilmektedir. Yemekhanelerde akustik konforun kötü olmasının sebepleri arasında hijyen ve temizlik gibi kriterlerin de ağırlığıyla çoğunlukla yansıtıcı yüzeylerin kullanılması, mümkün olduğunca çok sayıda kişiye hizmet verme çabası ve böylece oluşan çoklu kaynaklı ortamda gürültü seviyesi ve konuşma anlaşılabilirliğinin düşmesi olarak öngörülebilir.

Bu çalışmada kullanıcılardan gelen yoğun şikayet üzerine İstanbul'da büyük bir plazanın yemekhanesindeki akustik kalite değerlendirilmiş ve akustik konforun sağlanmasına yönelik alınması gereken önlemlerin somut olarak ortaya konulmasına çalışılmıştır. Yemekhanede varolan durumun bir değerlendirmesini yapabilmek için öncelikle yemekhane kullanıcıları ile bir memnuniyet anketi yapılmış ve kullanıcılardan mekandaki ses kalitesi, gürültü düzeyi ve konuşma anlaşılabilirliğini değerlendirmeleri istenmiştir. Daha sonra mekanda varolan durumdaki çınlama süresi değerleri ölçülmüştür. Akustik ölçümleri takiben çınlama süresini azaltmak amacıyla iç mimari tasarımla da uyumlu olacak yutucu akustik panel kullanımını içeren yeni tasarımlar geliştirilmiştir. Bu tasarımları geliştirmek için öncelikle saha ölçüm verilerine dayanarak güncel durum akustik modeli üretilmiş; model üzerinden, bilgisayar benzetimleri ile yemekhane için iç mimari konseptle uyumlu yeni tasarımlar üretilmiştir. Daha sonra seçilen tasarımdaki yutucu malzemelerin montajından sonra akustik ölçümler tekrarlanmış ve kullanıcılarla yeni bir memnuniyet anketi yapılmıştır.

2. ANKETLER, AKUSTİK ÖLÇÜMLER VE AKUSTİK SİMÜLASYONLAR

2.1. Yemekhanenin iç mimari özellikleri

Yemekhane İstanbul Anadolu yakasında bulunan bir plazada yer almaktadır. Farklı şirketlerde çalışan kişilerin öğlen saatlerinde yemeklerini yediği mekan yaklaşık 805 m^2 taban alanına sahiptir. Yemekhanenin yüksekliği 4.5m, toplam hacmi ise yaklaşık 3600 m^3'tür. Yemekhanedeki masa ve sandalyelerin yerleşimine göre toplam kapasite 356 kişidir. Öğlen yemeklerinin yenildiği 12:00-14:00 saatleri arasında özellikle saat 13:00 civarında yemekhane tam kapasite durumuna yaklaşmaktadır. Yemekhanenin iç mimari tasarımı yemek masalarının bulunduğu bölgeleri mekanın ortasında yeşil, kırmızı, mavi ve sarı olmak üzere dört farklı renk temasıyla birbirinden farklılaştırmıştır. Bu farklı bölgelerde asma tavan, aydınlatma elemanları, sandalyeler ve her bir bölgeyi tanımlayan seramik duvarlar tema renginde olarak ayrıştırılmıştır. Diğer masalar da mekanın çeperlerinde yerleştirilmiştir. Aşağıda Şekil 1'de yemekhanenin planı, yemek masalarının yerleşim planıyla beraber gösterilmektedir. Ayrıca yemekhanenin genel görünümü ve renk temalarına göre yemekhanede ayrışan bölgeler de yine **Şekil 1**'de görülmektedir. Yemekhanedeki yüzeylerin büyük bir kısmı kolay temizlenebilir, yansıtıcı malzemelerden oluşmaktadır. Tavanlar alçıpan asma tavan, duvarlar boya, zemin de linolyum

parkeden oluşmakta, bunun dışında werzalit masalar ve plastik sandalyeler de tüm yemekhaneye dağılmış durumdadır.



Şekil 1: Yemekhanenin planı ve yemekhaneden görünüşler.

2.2. Yemekhanede Kullanıcı Memnuniyeti Anketleri

Yemekhanede varolan durumun bir değerlendirmesini yapabilmek için öncelikle yemekhane kullanıcıları ile bir memnuniyet anketi yapılmış daha sonra ise akustik ölçümler tamamlanmıştır. Akustik ölçümler ile çınlanım süresi gibi ölçülebilen parametereler ortaya konmakta ancak bu parameterelerin insan algısı ile olan ilişkisini kurabilmek için kullanıcılar ile yapılan değerlendirmeler de önemli olmaktadır. Yemekhanede yapılan memnuniyet anketinde kullanıcılara bu yemekhanedeki ses kalitesi, gürültü düzeyi, gürültü rahatsızlığı ve konuşmanın anlaşılabilirliği ile ilgili değerlendirmeleri sorulmuştur. İlk anket Aralık 2016'da bir öğlen 12:30-13:30 saatleri arasında yemekhanede yemek yemekte olan 20 kişi ile yapılmıştır. Ankete

katılanların yaşları 24-45 arasında olup anket yapılan kişiler yemekhanenin farklı noktalarına dağılmış masalardan seçilmiştir. Ankette kullanıcılara aşağıdaki sorular yöneltilmiştir:

1. Mekanın ses kalitesini 1-5 arasında nasıl derecelendirirsiniz?
2. Gürültü sizi 1-5 arasında ne kadar rahatsız ediyor?
3. Gürültü düzeyini 1-5 arasında nasıl değerlendiriyorsunuz?
4. Konuşma anlaşılabilirliğini 1-5 arasında nasıl değerlendiriyorsunuz?

Daha sonra önerilen akustik panellerin yemekhaneye yerleştirilmesinden sonra Mart 2017'de yine kullanıcılarla bir mennuniyet anketi yapılmış ve aynı sorular tekrarlanmıştır. İkinci anket de öğlen 12:30-13:30 saatleri arasında yemekhanede yemek yiyen 20 kişiyle yapılmıştır. Katılımcıların yaşları 26-42 arasında değişmektedir ve yemekhanenin farklı yerlerinde oturan kullanıcılar arasından seçilmiştir.

2.3. Yemekhanede Akustik ölçümler

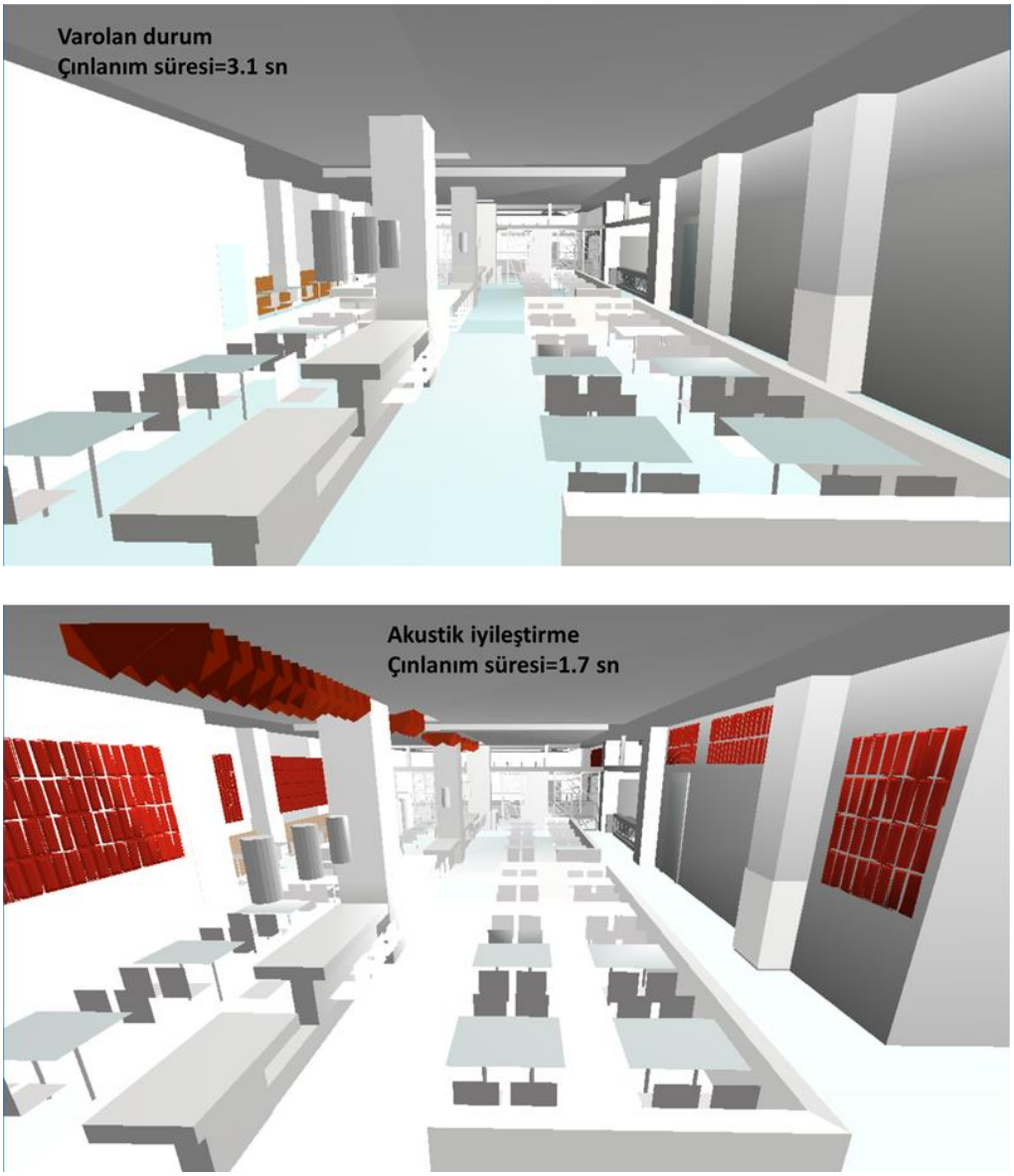
Yemekhanedeki ilk akustik ölçümler, mevcut durumdaki çınlama süresi değerlerini belirlemek amacıyla Ocak 2016 tarihinde mekân boş haldeyken ve arka plan gürültüsünün en az olduğu 19:30 ve 24:00 saatleri arasında yürütülmüştür. Akustik ölçümler ISO 3382-2:2008 standardına **[1]** uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Akustik sinyal üretimi için çok yönlü ses kaynağı ve güç yükseltici bir arada kullanılmıştır. Kaynaktan süpürme sinyali verilmiş ve darbe yanıtı etkileri ölçüm noktalarında mikrofon ile kaydedilmiştir. Bu ölçümlerde 100Hz ile 8000Hz frekans aralığında 1/3 oktav bant dizisi kullanılmıştır. Sinyal üretimi ve sinyal işleme için ODEON yazılımı kullanılmıştır. Ölçümler üç adet ses kaynağı için farklı alıcı noktaları konfigürasyonlarında yapılmıştır. Kaynak 1 için 8 adet alıcı noktası, kaynak 2 için 14 adet alıcı noktası ve Kaynak 3 için de 8 adet alıcı noktası belirlenmiştir. Tüm bu konfigürasyonlarda ölçümler alınmıştır. Ses kaynakları yerden 1,50 m, alıcı noktalarındaki mikrofonlar yerden 1,20 m yüksekliklerinde konumlandırılmıştır. Darbe yanıtları ODEON yazılımında işlenerek hacim akustiği parametrelerinden çınlama süresi değerleri hesaplanmıştır.

Daha sonra yemekhanedeki ses kalitesini iyileştirmeye yönelik tavsiye edilen akustik panellerin montajından sonra Mart 2017'de aynı ölçüm yöntemiyle, aynı kaynak ve alıcı noktalarında ölçümler tekrarlanmıştır.

2.4. Yemekhanenin Akustik Benzetim Çalışmaları

Yemekhanenin mevcut durumunu yansıtan üç boyutlu akustik modeli için mekanın iç mimari projesini yapan firmanın sağladığı 3D Max çizimleri esas alınmıştır. Ayrıca yine mekan içindeki malzemelerin bir listesi de iç mimarlık firması tarafından temin edilmiştir. Akustik model, ölçüm değerleri de baz alınarak ODEON yazılımında kalibre edilmiş ve öncelikle mevcut durumu ifade eden bir akustik model elde edilmiştir (**Şekil 2**). Mekandaki malzemelerin ses yutma çarpanları ODEON kütüphanesindeki malzemelerden seçilmiştir.
Daha sonra müşterinin hassasiyeti doğrultusunda iç mimari tasarımı en az etkileyecek ve iç mimarı tasarım konseptiyle en uyumlu olabilecek akustik panel uygulama önerileri geliştirilmiştir. Çeşitli tasarım önerileri geliştirildikten sonra duvarlar için keçe bazlı akustik yutucu dekoratif paneller, tavan için ise dikey olarak asılmış yine keçe bazlı akustik yutucu

"baffle" önerisi yapılmıştır. Müşteri için özellikle önemli olan iç mimari konseptle uyumlu tasarım için seçilen bu paneller hem dekoratif özellikleri hem de akustik yutuculuk özellikleri gözönüne alınarak seçilmiştir. Ayrıca iç mimari konseptle uyumlu olması için keçe bazlı akustik paneller renk temalarındaki renklerde üretilmiştir. Akustik panellerin duvar ve tavanlarda uygulanmasına yönelik çeşitli tasarım önerilerinden en optimal olduğu düşünülen ve müşterinin de onayını alan tasarım ODEON yazılımında tekrar modellenmiştir (**Şekil 2**). Duvarda uygulanması önerilen panellerin ses yutma çarpanları malzeme firmasının test sonuçlarından elde edilmişir. Tavanda uygulanan "baffle" lar için yutma çarpanları ölçüm değerleri bulunmadığı için modelde bu değerler tahmin edilmiştir. Önerilen yutucu panellerin ve "baffle" ların uygulandıktan sonra yemekhanedeki görünümü aşağıda **Şekil 3**'te gösterilmiştir.



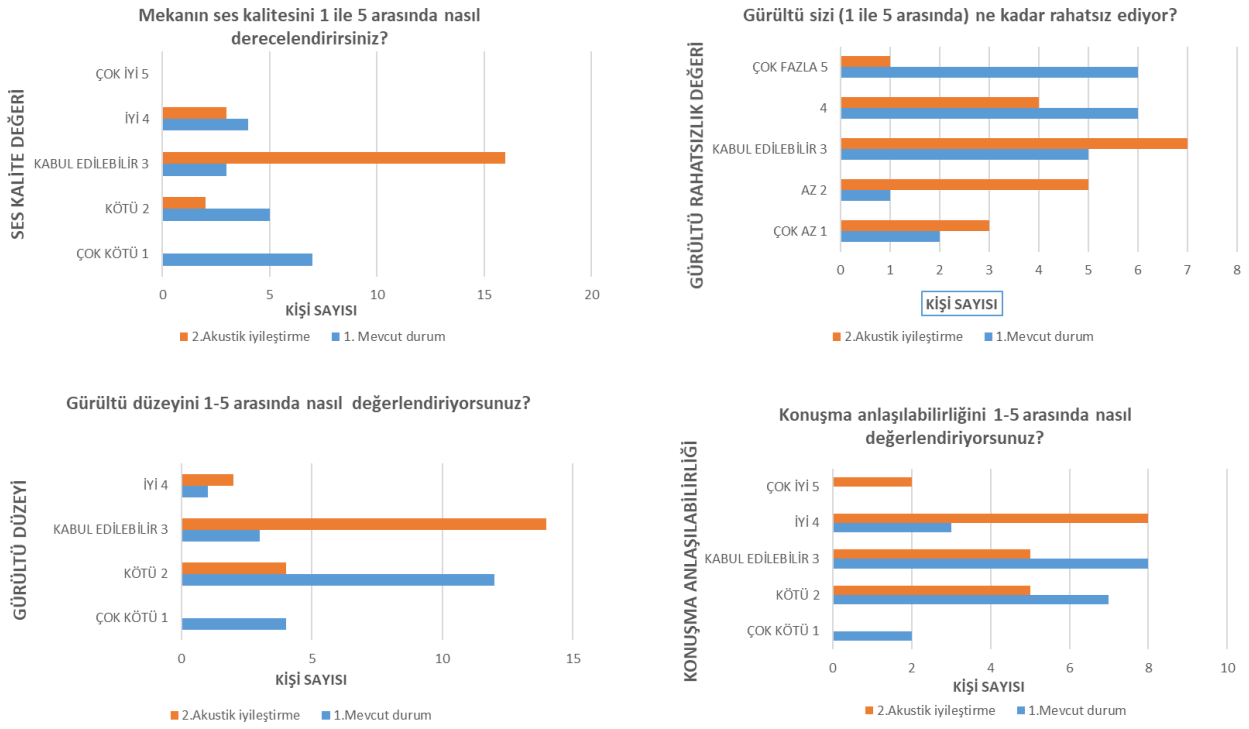
Şekil 2: Yemekhanenin mevcut durum ve akustik iyileştirme sonrası iç hacim görünüşü, ODEON Open Gl görünüşleri.



Şekil 3: Yemekhanede iç mimari konseptle uyumlu keçe bazlı akustik panel ve "baffle" uygulaması.

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Yemekhanede akustik iyileştirmeden önceki durum ve akustik panellerin montajından sonraki durumda yapılan anketlerdeki sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçlar kullanıcılara sorulan dört soru ekseninde mekanın ses kalitesi, gürültü düzeyi, gürültü rahatsızlığı ve konuşma anlaşılabilirliği açısından bir değerlendirmesini sunmaktadır. Bu sonuçlar aşağıda **Şekil 4**'te grafik olarak gösterilmektedir. Sonuçlar her dört kategoride de akustik iyileştirme sonrası kullanıcı memnuniyetinin arttığını göstermektedir. İlk durumda kullanıcıların %60'ı mekanın ses kalitesini "çok kötü" ve "kötü" olarak değerlendirirken akustik iyileştirme sonrası kullanıcıların %80'i mekanın ses kalitesini "kabul edilebilir" olarak değerlendirmişlerdir. Gürültü rahatsızlığı ise ilk durumda %60 kullanıcı tarafından "fazla" ve "çok fazla" olarak nitelendirilirken bu durum akustik iyileştirme sonrası %25 tarafından "fazla" ve "çok fazla" olarak nitelendirilmiştir. Gürültü düzeyi ilk durumda %80 kullanıcı tarafından "kötü" ve "çok kötü" olarak nitelendirilirken, akustik iyileştirme sonrası kullanıcıların %25'i gürültü düzeyini "kötü" ve "çok kötü" olarak değerlendirmiştir. İlk durumda kullanıcıların %15'i tarafından "iyi" ve "çok iyi" kategorisinde değerlendirilen konuşma anlaşılabilirliği akustik iyileştirme sonrası kullanıcıların %50'si tarafından "iyi" ve "çok iyi" kategorisinde değerlendirilmiştir.



Şekil 4: İlk mevcut durum ve akustik iyileştirme sonrası yemekhanede yapılan ses kalitesi anketlerinin analizi

İlk durum ve akustik iyileştirme sonrası akustik ölçümlerin analiz edilmesi sonucu elde edilen çınlama süreleri karşılaştırılmıştır (**Çizelge 1**). Ayrıca ölçümlere ilave olarak akustik iyileştirme önerisi geliştirilirken önerilen tasarımın olası etkilerini öngörmek için ODEON yazılımında önerilen panelleri de içeren yemekhane akustik modelinin simülasyonu yapılmıştır. Böylece montaj öncesi ODEON yazılımında akustik iyileştirmenin çınlama süresi değerleri hesaplanmıştır. Bu simülasyon sonuçları da Çizelge 1'de verilmektedir.

İlk mevcut durumdaki üç kaynak ve toplam 42 adet alıcı noktasında hesaplanan çınlama sürelerinin ortalama değerleri hesaplanmış ve bu değerler aşağıda **Çizelge 1**'de sunulmuştur. İlk durumda 125 Hz'de 2,23 saniye olan çınlama süresi akustik iyileştirme sonrası 1,58 saniyeye, ilk durumda 1000 Hz'de 3,12 saniye olan çınlama süresi ise akustik iyileştirme sonrası 1,81 saniyeye düşmüştür. Akustik iyileştirme önerisinin ODEON yazılımında hesaplanan çınlama süresi 125 Hz için 2,24 saniye ve 1000 Hz için 2,20 saniyedir. Bu durumda akustik iyileştirme sonrası yapılan ölçümlerde elde edilen sonuçların tahmin edilen ve simülasyonla ortaya konulan değerlerden çok daha iyi olduğu söylenebilir. Bunun sebeplerinden birisi de tavandaki "baffle" ların etkisinin simülasyonda tahmin edilenden daha yüksek yutma çarpanına ve saçıcılık etkisine sahip olması olabilir.

Ölçüm sonuçları 125 Hz'de çınlama süresinin %30, 1000 Hz'de ise %40 oranında düştüğünü göstermektedir. Yemekhaneler için Dünya Sağlık Örgütü tarafından hazırlanan Toplumda Gürültü Raporunda **[2]** önerilen çınlama süresi değeri orta frekans aralığında 1,0 saniye iken ülkemizde de 31 Mayıs 2017 tarihinde yürülüğe giren "Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik"in **[3]** Ek 6: Binalarda izin verilen reverberasyon süreleri bölümünde

önerilen çınlama süresi değeri ise C ve D akustik sınıfı binalar için yine 1,0 saniye olarak belirlenmiştir. Yönetmelik ve kılavuz dökümanlarda önerilen değerlere göre yemekhanedeki çınlama süresi akustik iyileştirme sonrası da önerilen değerlerden yüksek olmakla beraber mekanın hacminin büyüklüğü de göze alındığında 1000 Hz'de 1,81 saniye değerinin optimal bir değer olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 1: Yemekhanenin ilk mevcut durumu ve akustik iyileştirme sonrası çınlama süresi değerlerinin frekans dağılımı

	Çınlama süresi (sn)					
Frekans	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
İlk durum (ölçüm)	2,23	2,39	2,31	3,12	2,97	2,16
Akustik iyileştirme sonrası (ölçüm)	1,58	1,79	1,71	1,81	1,72	1,41
Akustik iyileştirme sonrası (ODEON simülasyon)	2,24	2,57	2,34	2,20	2,2	1,58

4. SONUÇ

Bu bildiride kullanıcı şikayetleri gözönüne alınarak bir yemekhane yapılan akustik iyileştirme tasarımının süreçleri ele alınmıştır. Bu çalışmada özellikle mekan işletmecisi ve iç mimar tarafından varolan tasarımı bozmayacak, tasarım konseptiyle bütünleşik, daha sonradan eklenmiş hissi vermeyen ama yanı zamanda akustik kalitenin artmasını sağlayacak akustik panellerinin lokasyon ve niteliğinin belirlenmesi önemli olmuştur. Nihai tasarımda hem ölçüm verileri hem de kullanıcı anketleriyle akustik iyileştirmenin etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Daha sonraki çalışmalar için yemekhanelerdeki çınlama süresi ve hacim arasındaki ilişkinin çalışılması hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

1. ISO 3382-2 Acoustics-Measurement of Reverberation Time of Rooms with Reference to other Acoustical Parameters, International Organization for Standardization, (2008).

2. Berglund, B., & Lindvall, T. (Eds.). Community noise. Archives of the Center for Sensory Research, 2(1), pp:1-195, (1995).

3. Binaların gürültüye karşı korunması hakkında yönetmelik, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 27 Mayıs (2017).

3.Ulusal
Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi

10-11 Mayıs 2018
İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul

MİMARİDE KULLANILAN DOKUNMAMIŞ MALZEMELERİN SES YUTUCULUĞUNUN EMPEDANS TÜPÜ İLE ÖLÇÜLMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Mimar Duygu Özel [a]
Talayman Akustik
Prof.Dr.Sevtap Yılmaz [b]
İTÜ Mimarlık Fakültesi
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

ÖZET

Yıllar içinde ses, önemi giderek artan bir tasarım parametresi haline gelmiştir. Özellikle iç mekan tasarımlarında kullanılan yansıtıcı, yutucu veya saçıcı niteliklerdeki mimari bitiş malzemeleri, o mekanı tanımlayan unsurların başında gelmektedir. Her ne kadar mekanlar için akustik konfor algıları subjektif yargılara göre değişebiliyorsa da bu mekanlarda karşılaşılan sorunların başında, istenmeyen yansıma ve çınlama problemleri gelmektedir. Buna yönelik en yaygın çözüm yöntemi; o mekanın gerekli olan noktalarda ses yutucu malzemeler ile desteklenmesidir. Yutucu nitelikte malzeme kullanımı, teknolojik gelişmeler ve artan ihtiyaç ile birlikte çok çeşitli imkanlar sunabilecek noktaya gelmiştir. Çalışma kapsamında önemle vurgulanan konu; doğal, sürdürülebilir, insan sağlığına zarar vermeyen, karbon salınımı düşük olan, geri dönüştürülebilir malzemeler ile de akustik konfor koşullarının sağlanabileceğidir. Çalışma kapsamında dokunmamış gözenekli malzeme grubunda yer alan keçe tipi malzemelerin akustik açıdan değerlendirilmesi yer almaktadır. Deneysel çalışmalarda, geri dönüştürülebilir malzemelerden üretilen endüstriyel keçe malzemelerin "ISO 10534-2" standardına uygun gerçekleştirilen ölçümlerine yer verilmiştir. Yapılan ölçümler neticesinde elde edilen sonuçlar detaylı olarak açıklanmıştır. Tüm bu çalışmaların sonucu olarak; bu türde malzemelerin ses yutuculuk niteliklerinin iyileştirilmesine dair öneriler aktarılmıştır.

Anahtar sözcükler: Ses Yutucu, Empedans Tüpü, Dokunmamış Malzeme

ABSTRACT

Over the years, sound is getting more important as a design parameter for indoor and outdoor spaces. Architectural finishing materials which can be reflective, absorber or diffuser are the leading elements that describes the spaces. Undesirable reflections and reverberation problems are the main issues that one can encounter in architectural design. With respect to this, the most common solution method is to cover the surfaces with the absorptive materials. Applying absorptive materials in spaces has become widespread with the technological developments and rising needs. At this point, the importance of the natural, sustainable, harmless for human health, recycling, with low emission of carbon materials are emphasized in the study. The main field of the study is acoustical properties of nonwoven materials. The title of the study is "Measuring and Evaluating the Sound Absorption of Nonwoven Materials Used in Architectural Design By Using Impedance Tube". Within the scope of experimental issues of the study, industrial nonwovens are measured according to "ISO 10534-2". The result of these measurements are stated comparatively in detail.

Key words: Sound Absorber, Impedance Tube, Nonwoven Material

[a] e-posta adresi: duyguozell@gmail.com
[b] e-posta adresi: demirkale@itu.edu.tr

1. GİRİŞ

İnsanlar günlük yaşantısında iç mekanlarda, dış alanlarda ve servis alanlarında gürültü üreten kaynaklarla çevrelenmiş durumdadırlar. Bir gürültü sistemi üç grupta incelenebilir: gürültü kaynağı, gürültü yolu, gürültü alıcısı. Gürültünün rahatsız edici etkisinin önüne geçilebilmesi için; yukarıda bahsedilen maddelerden en az birinin kontrol altına alınması şarttır [**1**].
Bir yüzeye çarpan ses, iletilir, emilir ve yansır. Ses, yüzey niteliğine bağlı olarak enerjisinin bir kısmını iletime, bir kısmını yansımaya bir kısmını da yutulmaya harcar. Bununla birlikte yansıyan ses büyük düz yüzeyler aracılığıyla yeniden yönlendirilebilir (dik açılı yansıma) veya saçıcı bir yüzey tarafından dağıtılabilir [**2**].
İyi ve doğru mimari akustik tasarım ancak doğru hacim miktarı, doğru hacim şekli ve yutucu, saçıcı ve düz yüzeylerin uygun kombinasyonlar şekilde yerleştirilmesi ile oluşacak yüzey iyileştirmeleri ile mümkündür [**2**].

2. KAPSAM VE YÖNTEM

Yapılan çalışmada ele alınan keçe türü malzemeler gerek endüstri ve otomotiv sektöründe gerekse hacim akustiği iç mimari uygulamalarında sıkça tercih edilmesi itibariyle önemli bir yere sahiptir. Bununla birlikte malzeme seçimi konusunda akustik faydanın yanında, doğaya ve insan sağlığına daha az zararlı olan doğal, sürdürülebilir, karbon salınımı düşük olan, geri dönüştürülebilir malzemeler konusunda tasarımcı ve kullanıcıların bilinçlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda pet şişlerin geri dönüştürülmesi ile elde edilen endüstriyel keçe ve kot pantolon ve havlu gibi atıkların bir araya getirilmesi ile elde edilen atık elyaflar kullanılarak "ISO 10534-2:Akustik-Empedans borularındaki ses absorpsiyon katsayısının ve empedansın tayini - Aktarım fonksiyonu metodu [**3**]" standardına uygun şekilde ölçümler gerçekleştirilerek sonuçlar ve analizler oluşturulmuştur. Bu noktada yapılan literatür araştırmaları ve deneysel çalışmalar sonucunda, bu tip malzemelerin ses yutuculuklarının hangi faktörlere bağlı değiştiği açıklanmıştır. Buradan yola çıkılarak kalınlığa, delik oranına ve ikincil malzeme eklenmesi durumlarına bağlı ses yutuculuk incelemeleri gerçekleştirilmiş ve detaylı sonuç analizleri oluşturulmuştur. Sonuçta, bu malzemelerin ses yutuculuklarına yönelik iyileştirilme önerilerine yer verilmiştir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalar kapsamında empedans tüpü aracılığıyla lifli gözenekli malzeme grubunda yer alan keçe türevli malzemelerin ses yutuculuk analizleri yapılmıştır. "ISO 10534-2" metodu kullanılarak cihazlar ile 63-6300 Hz frekans aralığında test sonuçları elde edilmiştir.

3.1 Empedans Tüpü Kullanılarak Yapılan Ölçümler

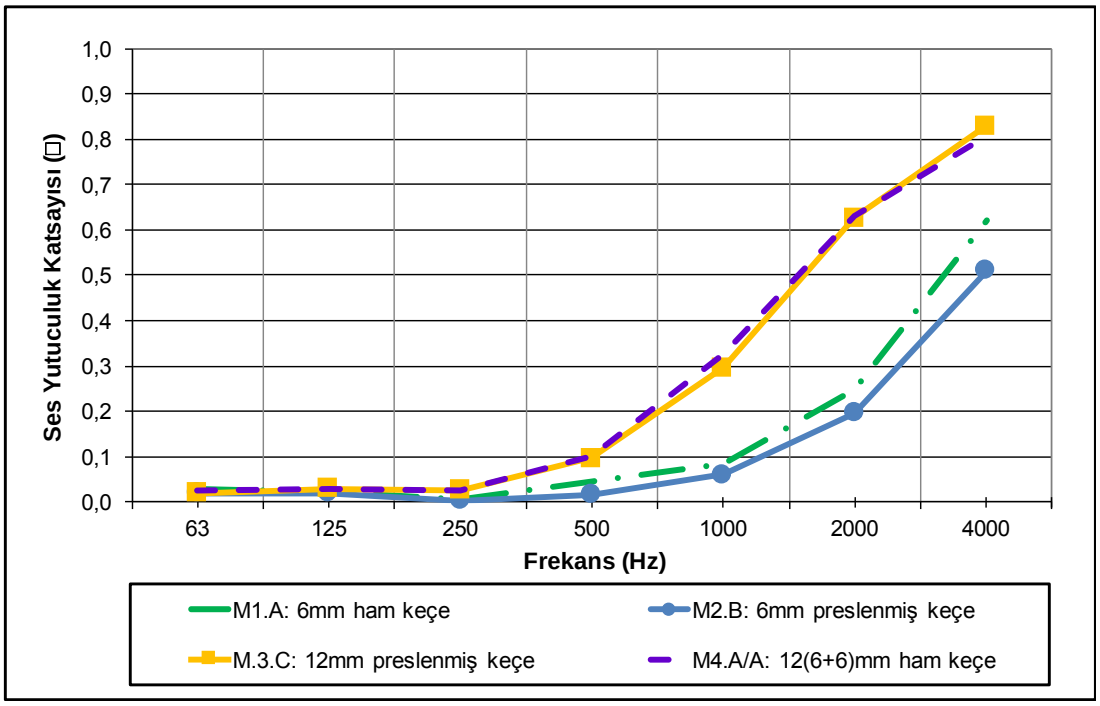
Çalışmalar kapsamında toplamda on iki adet sistem detayı ölçümü gerçekleştirilmiştir. Ölçüm çalışmalarına başlamadan önce, deney grupları analiz edilmek istenen parametreye bağlı olarak planlanmıştır. Söz konusu planlama ve değerlendirilen parametreler **Çizelge 1**'de yer almaktadır.

Çizelge 1: Ölçüm planlaması ve değerlendirilen parametreler.

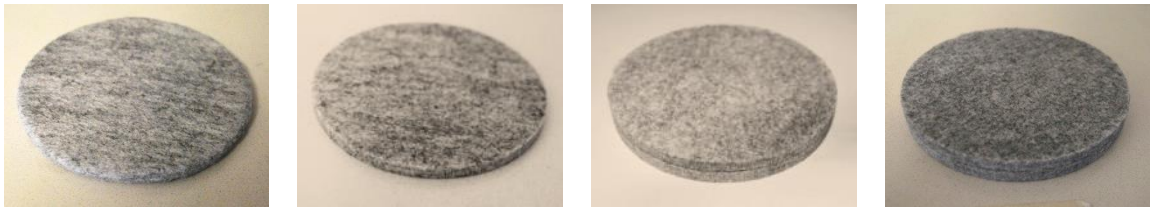
Ölçülen Parametre	Numune Ölçüm Kodu	Numune Tanımı	Kalınlık	İkincil Malzeme	Delikler Arası Mesafe ve Çap
Kalınlık	M1.A	Endüstriyel Keçe (ham)	6 mm	-	-
	M2.B	Endüstriyel Keçe (preslenmiş)	6 mm	-	-
	M3.C	Endüstriyel Keçe (preslenmiş)	12 mm	-	-
	M4.A/A	Endüstriyel Keçe (ham)	6 + 6 mm (İki Katman)	-	-
İkincil Malzeme	M5.D	Atık elyaf	20 mm	-	-
	M6.A/D	Endüstriyel Keçe (ham)	6 mm	Atık elyaf	-
	M7.C/D	Endüstriyel Keçe (preslenmiş)	12 mm	Atık elyaf	-
	M8.E/B/E	Endüstriyel Keçe (preslenmiş)	6 mm	Yün Keçe	-
Delikler Arası Mesafe ve Çap	M9.F	Endüstriyel Keçe (preslenmiş)	12 mm	-	15/7.5/5
	M10.G	Endüstriyel Keçe (preslenmiş)	12 mm	-	25/25/10
Delikler Arası Mesafe ve Çap (İkincil Malzeme ile)	M11.F/D	Endüstriyel Keçe (preslenmiş)	12 mm	Atık elyaf	15/7.5/5
	M12.G/D	Endüstriyel Keçe (preslenmiş)	12 mm	Atık elyaf	25/25/10

3.2. Endüstriyel keçeler için kalınlığa bağlı değişen ses yutuculuğunun değerlendirilmesi

Yapılan ölçümlerde 6 mm ve 12 mm kalınlıkta numunelerin ses yutuculuk karakteristikleri karşılaştırılmıştır. Bu noktada bir alt parametre olarak ham keçe ve preslenmiş keçe arasındaki fark da ortaya konmuştur. Bahsi geçen numuneler için elde edilen veriler ve görseller **Şekil 1** ve **Şekil 2**'de yer almaktadır.



Şekil 1: Kalınlığa bağlı değişen ses yutuculuğu.



M1.A M2.B M3.C M4.A/A

Şekil 2: Değerlendirmeye alınan numunelere ait görseller.

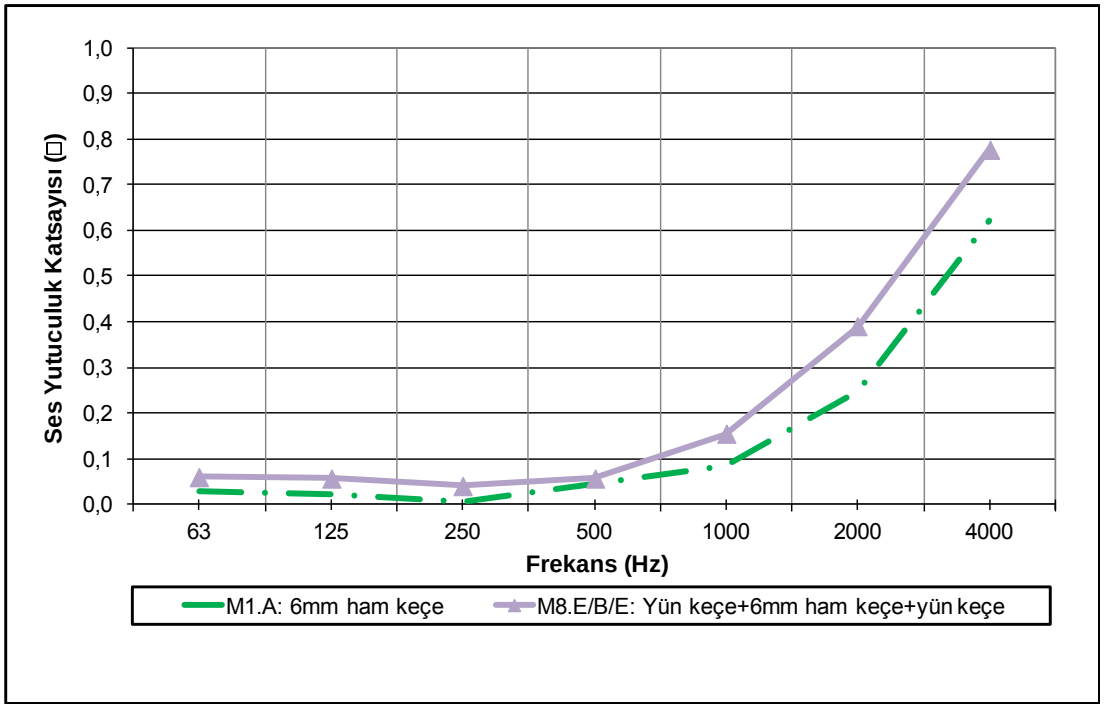
Ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde; hem ham keçe hem de preslenmiş keçe için kalınlığın 6 mm'den 12 mm'e çıkması ile birlikte ses yutuculuk değerlerinde ciddi bir iyileşme olduğu görülmektedir. Bu etkinin 250 Hz'den itibaren fark edilebilir bir seviyeye ulaştığı görülmektedir. Buradan hareketle endüstriyel keçeler için; diğer gözenekli malzemelerde de olduğu gibi, kalınlık ile doğru orantılı bir ses yutuculuk performansı artışı doğurduğu söylenebilir.

İkinci olarak ham keçe ile preslenmiş keçe arasındaki farka bakılacak olursa; 6 mm kalınlığındaki numuneler için ham keçenin 500 Hz'den itibaren daha yüksek ses yutuculuk performansı gösterdiği görülmektedir. Bu durumun preslenmiş keçenin içerisinde daha az hava boşluğu bulunmasından kaynaklandığı söylenebilir. Aynı karşılaştırma 12 mm kalınlığındaki keçeler üzerinde yapıldığında daha az belirgin bir fark olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara bakıldığında yalnızca 1000 Hz ve 4000 Hz bandında ham keçe için gözle görülebilir bir ses yutuculuk performansı artışı gözlemlenmiştir. Bu karşılaştırmada fark çok daha az olduğundan, karşılaştırma olarak artan ve azalan alanlardan kesin bir yargıya varılması doğru olmayacaktır.

Bu duruma ilişkin kesin değerlendirme yapabilmek adına daha fazla sayıda ölçüm yapılması gereklidir.

3.3. Endüstriyel keçeler için ikincil malzemeye bağlı değişen ses yutuculuğunun değerlendirilmesi

Yapılan ölçümlerde farklı ikincil malzeme ile birlikte kullanılan endüstriyel keçelerin ses yutuculuğuna ilişkin veriler elde edilmiştir. Buna yönelik olarak 6 mm ham keçe ile her iki tarafına yün keçe katmanı eklenmiş ham keçe numunelerinin ses yutuculuk karakteristikleri karşılaştırılmış olup **Şekil 3** ve **Şekil 4**'te ifade edilmiştir.



Şekil 3: İkincil malzemeye (yün keçe) bağlı değişen ses yutuculuğu.

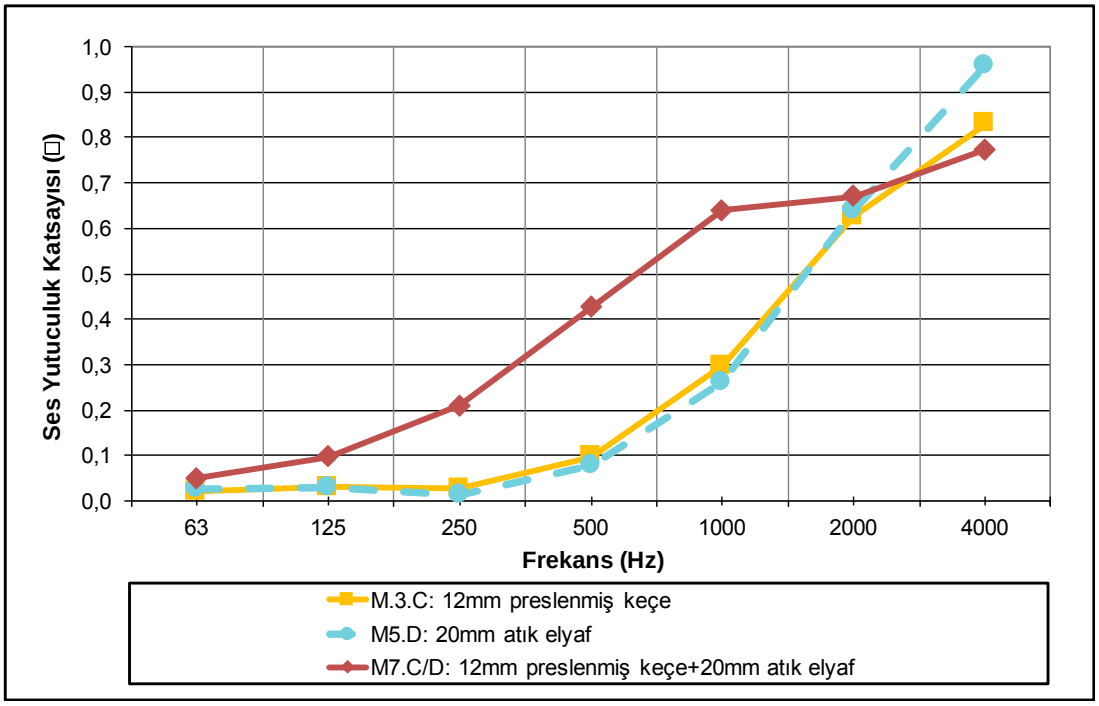


M1.A M8.E/B/E

Şekil 4: Değerlendirmeye alınan numunelere ait görseller.

Ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde; yün keçenin eklenmesinin tüm frekans bantlarında daha yüksek ses yutuculuk performansı gösterdiği görülmektedir. Performanstaki bu artışın 1000-4000 Hz aralığında biraz daha belirgin olduğu göze çarpmaktadır. Yün keçe oldukça ince (yaklaşık 1 mm kalınlığında) bir malzeme olması itibariyle tekil haliyle yüksek frekanslarda etkili olabilecek bir ses yutucu gözenekli malzeme olarak değerlendirilebilir. Ancak 6 mm ham keçe ile bir arada

kullanılması durumunda düşük frekans performansına da bir miktar iyileşme sağlamıştır. Yapılan ölçümler kapsamında bir başka ikincil malzeme olarak atık elyaf eklenmesi durumu incelenmiştir. Buna yönelik olarak 12 mm preslenmiş keçe ile arkasına 20 mm atık elyaf eklenmiş olan preslenmiş keçe numunelerinin ses yutuculuk karakteristikleri karşılaştırılmış olup **Şekil 5** ve **Şekil 6**'da ifade edilmiştir.



Şekil 5: Preslenmiş keçe için ikincil malzemeye (atık elyaf) bağlı değişen ses yutuculuğu.

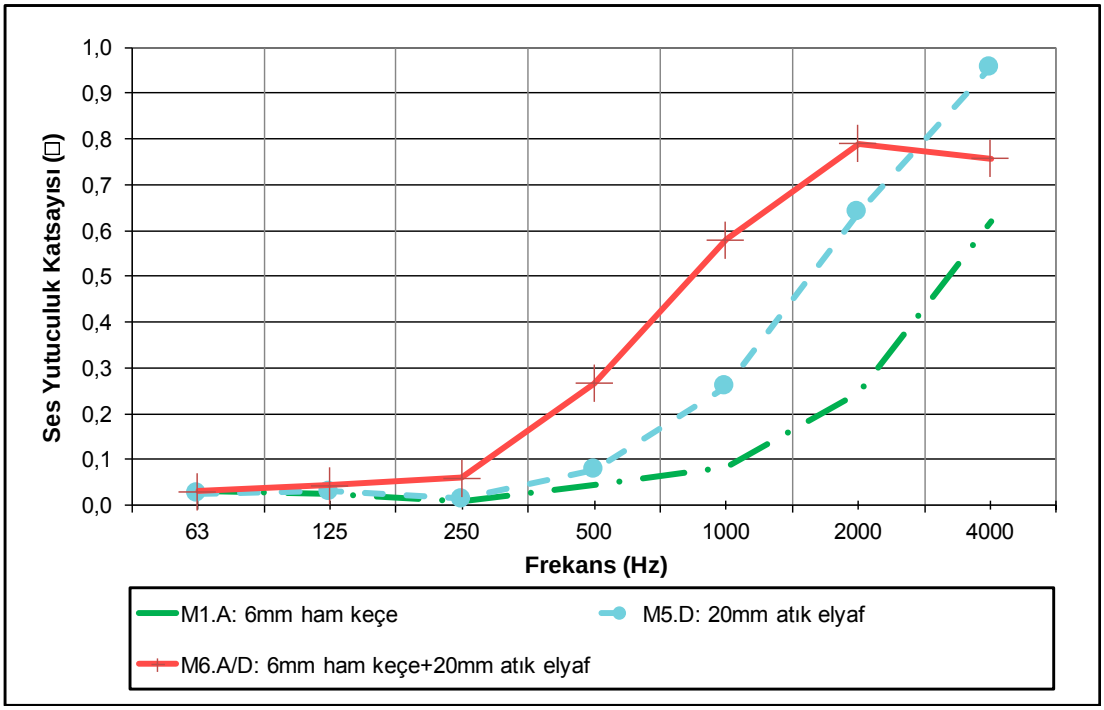


M3.C M5.D M7.C/D

Şekil 6: Değerlendirmeye alınan numunelere ait görseller.

Ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde; atık elyaf ile endüstriyel keçenin bir araya gelmesi ile oluşturulan sistem detayının, tekil olarak ortaya çıkardıkları ölçüm sonuçlarına göre düşük frekans bandını da kapsayacak şekilde ciddi oranda yüksek bir ses yutuculuk performansı ortaya koyduğu görülmektedir.

Yapılan ölçümler kapsamında ikincil malzeme olarak atık elyaf eklenmesi durumu 6 mm kalınlığındaki ham keçe numuneler için de incelenmiştir. Buna yönelik olarak 6 mm preslenmemiş ham keçe ile arkasına 20 mm atık elyaf eklenmiş olan ham keçe numunelerinin ses yutuculuk karakteristikleri karşılaştırılmış olup **Şekil 7** ve **Şekil 8**'de ifade edilmiştir.



Şekil 7: Ham keçe için ikincil malzemeye (atık elyaf) bağlı değişen ses yutuculuğu.



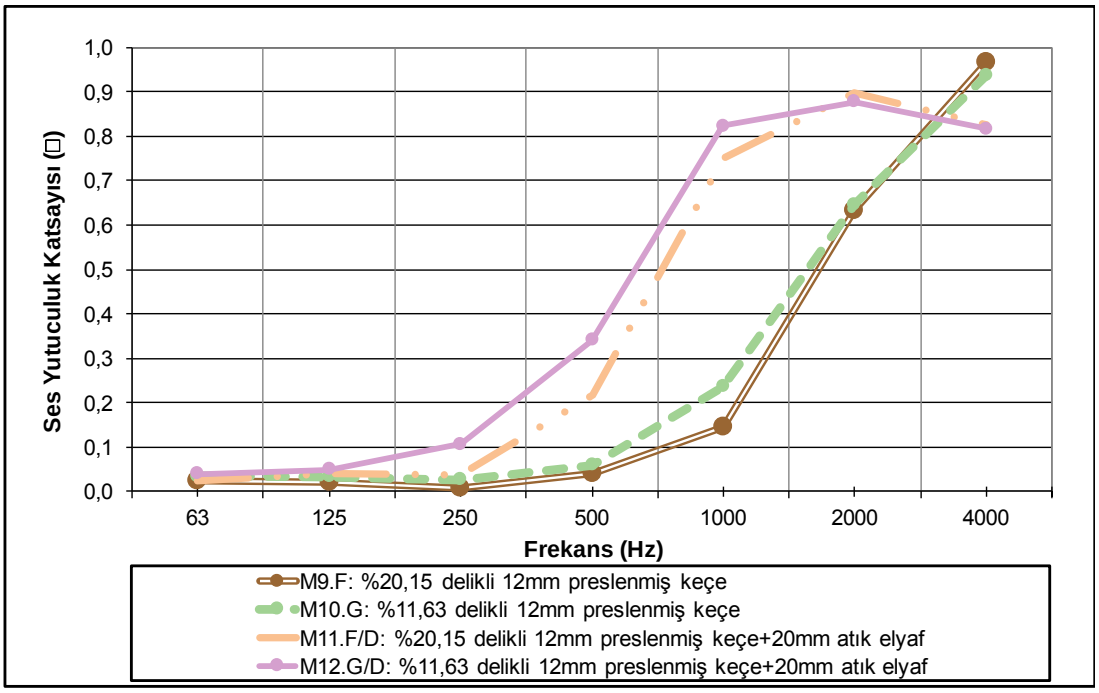
M1.A M5.D M6.A/D

Şekil 8: Değerlendirmeye alınan numunelere ait görseller.

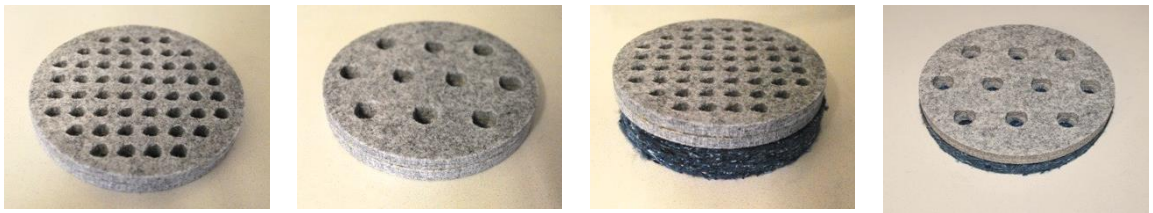
Ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde; atık elyaf ile endüstriyel keçenin bir araya gelmesi ile oluşturulan sistem detayının, tekil olarak ortaya çıkardıkları ölçüm sonuçlarına göre düşük frekans bandını da kapsayacak şekilde ciddi oranda yüksek bir ses yutuculuk performansı ortaya koyduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, **Şekil 5**'te yer alan 12 mm preslenmiş keçe arkasına atık elyaf eklenmesi durumu ile kıyaslandığında 6 mm keçe için atık elyaf eklenmesi durumunun daha yüksek bir iyileşme sağladığı görülmektedir.

3.4. Endüstriyel keçeler için delik oranına bağlı değişen ses yutuculuğunun değerlendirilmesi

Yapılan ölçümler kapsamında 12 mm preslenmiş delikli keçeler ile arkasına 20 mm atık elyaf eklenmiş olan preslenmiş delikli keçelerin ses yutuculuk karakteristikleri karşılaştırılmış olup **Şekil 9** ve **Şekil 10**'da ifade edilmiştir.



Şekil 9: İkincil malzeme ile birlikte peforasyona bağlı değişen ses yutuculuğu.

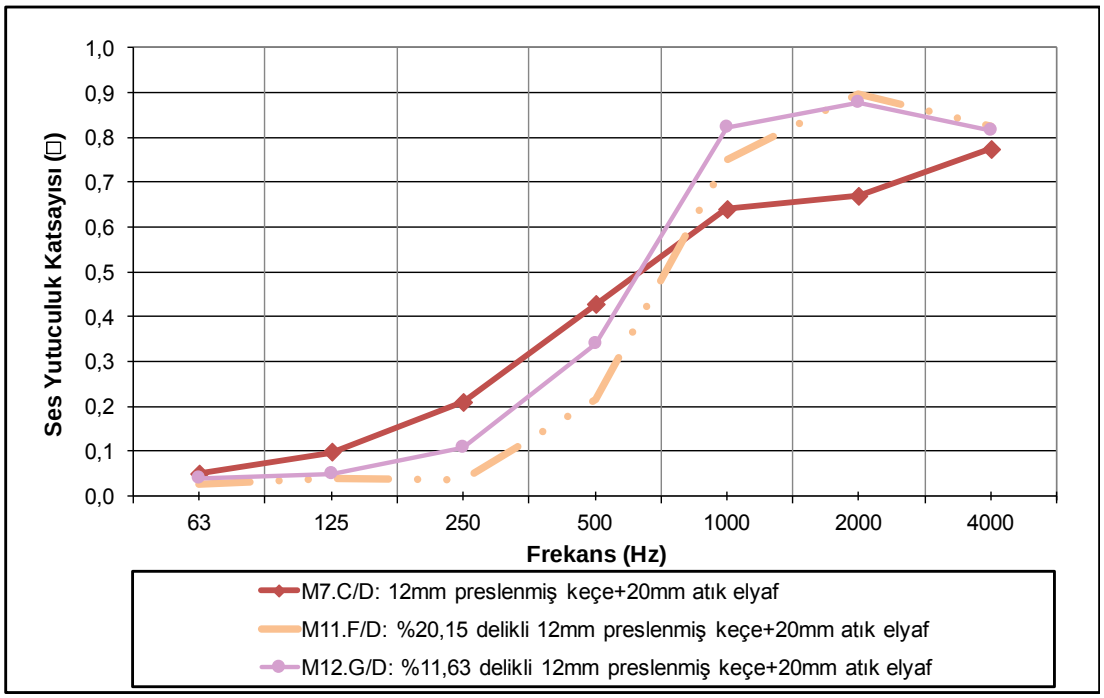


M9.F M10.G M11.F/D M12.G/D

Şekil 10: Değerlendirmeye alınan numunelere ait görseller.

Ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde; atık elyaf ile delikli endüstriyel keçenin bir araya gelmesi ile, özellikle 250 Hz bandından itibaren yüksek bir ses yutuculuk performansı olduğu görülmektedir. Bununla birlikte grafik karakterleri incelendiğinde atık elyaf eklenmemiş durumdaki iki sonucun ve eklenmiş durumdaki iki sonucun genel frekans bandında delik oranından bağımsız olarak benzer bir karakter gösterdiği görülmektedir.

Delik oranı etkisi için bir başka değerlendirme de ikincil malzeme olarak atık elyaf eklenmesinin etkisinin gözlemlenmesidir. Buna yönelik arkasında 20 mm atık elyaf bulunan, 12 mm preslenmiş delikli ve tamamı dolu keçelerin ses yutuculuk karakteristikleri karşılaştırılmış olup **Şekil 11** ve **Şekil 12**'da ifade edilmiştir.



Şekil 11: Dolu ve delikli olması ile ikincil malzemeye bağlı değişen ses yutuculuğu.



M7.C/D M11.F/D M12.G/D

Şekil 12: Değerlendirmeye alınan numunelere ait görseller.

Ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde; atık elyaf eklenmiş delikli endüstriyel keçe sistem detayları ile tamamı dolu keçe sistem detayı karşılaştırıldığında; ses yutuculuk karakterlerinin yaklaşık 700 Hz bandı öncesinde ve sonrasında farklı karakterlerde olduğu görülmektedir. 63 Hz ile 700 Hz bandı arasında tamamı dolu olan keçe numunenin, bu frekans bandı sonrasında ise delikli numunelerin daha yüksek performans gösterdiği görülmektedir.

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Çalışma kapsamında toplam on iki adet ölçüm gerçekleştirilmiş olup sonuç grafiklerine ve analizlerine detaylı olarak yer verilmiştir. Ölçüm sonuçlarının geneli değerlendirildiğinde karşılaştırma yapılacak olursa bazı temel çıkarımlar yapılabilecektir. Örneğin; 6 mm ham endüstriyel keçe (M1.A) ve 12 mm ham endüstriyel keçenin (M4.A/A) ses yutuculuk performansları kıyaslandığında kalınlık artışına bağlı ses yutuculuk performansının iyileştiği söylenebilir. Benzer bir durumun 6 mm preslenmiş endüstriyel keçe (M2.B) ile 12 mm

preslenmiş endüstriyel keçenin (M3.C) ses yutuculuk performansları arasında da olması bu yargının doğruluğunu artırmaktadır. Bahsi geçen numuneler arasında ham keçe ve preslenmiş keçenin ses yutuculuk performansları arasındaki farka bakılacak olursa; 6 mm kalınlığındaki numunelerde (M1.A ve M2.B) ses yutuculuğu açısından ham keçe lehinde bir fark görünürken, 12 mm kalınlığındaki numunelerde (M3.C ve M4.A/A) çok fark olmadığı görülmektedir.

Bir başka ölçüm sonucu değerlendirmesi de endüstriyel keçelerin arkasına atık elyaf eklenmesi durumu için yapılmıştır. Burada hem 12 mm preslenmiş endüstriyel keçe (M3.C) hem de 6 mm ham endüstriyel keçe (M1.A) numuneler için arkalarına atık elyaf eklenmeleri durumunda ses yutuculuk performanslarında çok ciddi bir iyileşme görülmüştür. Bununla birlikte delikli numunelerin (M10.F ve M11.G) arkasına atık elyaf eklenmesi (M12.F/D ve M13.G/D) ile ses yutuculuk performanslarının iyileştiği açıkça görülmektedir. Buradan hareketle, dört karşılaştırma grubunda da benzer sonuçlar elde edildiğinden eklenen atık elyafın ses yutuculuğuna olumlu yönde katkı sağladığı sonucuna varılabilir. Endüstriyel keçelerin ikincil malzemeler ile entegre edilmesi konusunda bir başka kontrol grubu da, 6 mm ham endüstriyel keçenin (M1.A) her iki yüzüne yaklaşık 1 mm kalınlığında ince bir katman yün keçe eklenmesi (M8.E/B/E) şeklinde oluşturulmuştur. Burada da 20 mm kalınlığında atık elyaf eklenmesinin etkisi kadar olmasa da yün keçe ilavesinin ses yutuculuk performansına olumlu yönde katkı sağladığı söylenebilir. Burada iki malzemenin farklı etkiler göstermesinin sebebinin malzeme nitelikleri farkı ile birlikte kalınlıktan da ileri gelmiş olduğu düşünülmektedir.

Yapılan ölçümlere ilişkin bir başka konu da delik oranı etkisidir. Bu konuda delik oranları %20,15 (M10.F) ve %11,63 (M11.G) olmak üzere iki farklı delik oranlarındaki keçe için elde edilen sonuçlara göre delik oranı farkına bağlı ses yutuculuk performansında çok büyük bir değişim olmadığı görülmektedir. Ancak bu konuda kesin bir yargıya varılabilmesi için farklı delik ve açıklık detayları oluşturularak ölçülmesi gerekmektedir. Ancak bu noktada bu iki delikli numune (M10.F ve M11.G) ile delikli olmayan aynı kalınlıktaki preslenmiş keçe (M3.C) kıyaslandığında, delikli numunelerde metrekare olarak yutucu yüzey azalımı olmasına rağmen bu üç sonuç arasındaki farkın çok fazla olmadığı görülmüştür. Buradan yola çıkılarak bu tip keçe malzemelerin iç mimari uygulamalarda kullanılması durumunda, estetik kaygılarla dolu veya boşluklu görünüm oluşturulmasının akustik açıdan çok büyük bir fark oluşturmayacağı söylenebilir. Buradaki sonuçların, malzeme seçimi ile ilgili kullanıcı veya mimarlara tercih esnekliği sağlayabileceği söylenebilir. Bu tip tasarımlar ile akustik konfordan feragat edilmeden dekoratif iç mimari çözümler oluşturulabileceği öngörülmektedir. Bu noktada farklı delik oranı ve açıklıklarla ölçüm tekrarlarının yapılması yolu ile bu yargının doğruluğu güçlendirilebilecektir.

KAYNAKLAR

1. R. P. Puranik, R. R. Parmar, P. P. Rana. (2014). 'Nonwoven Acoustic Textiles – A Review'. *International Journal Of Advanced Research In Engineering And Technology (IJARET)*. SSN 0976 – 6499, Volume: 5, Issue: 3, pp: 81-88.

2. J. T. Cox, P. D'Antonio. (2009). *Acoustic Absorbers and Diffusers, Second Edition*. Taylor and Francis Group, London and New York, USA.

3. TS EN ISO 10534-2. (2003). "Akustik-Empedans borularındaki ses absorpsiyon katsayısının ve empedansın tayini-Bölüm 2: Aktarım fonksiyonu metodu".

3.Ulusal
Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi

10-11 Mayıs 2018
İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul

STADYUMLARDA UYGUN AKUSTİK ORTAMIN OLUŞTURULMASINDA KANOPİ ETKİSİNİN SİMÜLASYON YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

Merve Gözütok [a]
Doç. Dr. Mehmet Nuri İlgürel [b]
Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi
Beşiktaş, İstanbul, 34349

ÖZET

Stadyumlar, kulüpler için futbol maçlarının oynandığı alandan öteye geçmiş durumdadır. Gerek mimari formu gerekse maç günü atmosferi ile kulüpler için bir prestij kaynağı niteliğindedir. Bu nedenle günümüzde çok büyük maliyetlerle, modern, futbol kulübünün ihtiyaçlarını maç günü ve sonrasında karşılayacak nitelikte stadyumlar yapılmaktadır. Bu büyük maliyetler düşünüldüğünde futbol kulübünün, futbolcuların ve taraftarının stadyumdan en büyük beklentisi olan maç günü stadyum içi atmosferinin de beklentileri yeterince karşılaması gereklidir. Stadyum içi atmosferin önemli bir bileşeni de maç sırasında izleyicilerin seslerinin etkili bir biçimde oyunculara ulaştırılmasıdır. Bu amaçla akustik simülasyon programı kullanılarak stadyum kanopisinin atmosfer üzerindeki etkisi ses düzeyi ve akustik parametreler açısından incelenmiştir.Bu çalışma yapılırken ilk önce stadyum ile ilgili standartlar incelenip stadyum mimarisiyle ilgili genel özellikler belirlenmiştir. Daha sonra stadyum kullanıcıları için uygun akustik ortam tanımlanmıştır. Standartlara bağlı niteliklere uygun olarak tasarlanan stadyum prototipi üzerinden farklı seçenekler oluşturularak, gereç değişimlerini de içerecek şekilde simülasyonlar gerçekleştirilmiş ve akustik ortamın uygunluğu açısından değerlendirilmiştir.

Anahtar sözcükler: Stadyum mimarisi, Kanopi, Akustik simülasyon, Anlaşılabilirlik, Ses düzeyi.

ABSTRACT

Stadiums are much more than a playing field for the supporters and the clubs. Both of architectural form and match day atmosphere of stadiums are very important for football clubs. Therefore, nowadays stadiums are built to meet the needs of football clubs during the match days with huge costs. Considering the huge costs, the atmosphere of the stadium on the match day must meet an expectation of the fans, the players and the football club. An important component of the stadium atmosphere is that the voices of the audience are effectively delivered to the players during the match. For this purpose, the effect of the stadium canopy on the atmosphere was researched in terms of sound level and acoustic parameters using an acoustic simulation software. In this study, firstly the standards related to the stadium were examined and the general features related to the stadium architecture were determined. Afterwards, the suitable acoustic environment is defined for stadium users. The prototype of stadium was designed based on the standards. Then the acoustic simulations were made with different options, which included various types of materials. All the results were evaluated in terms of the suitability of the acoustic environment.

Key words: Stadium architecture, Canopy, Acoustic simulation, Intelligibility, Sound level.

[a] e-posta adresi: mrvgozutok@gmail.com
[b] e-posta adresi: milgurel@yildiz.edu.tr

1.GİRİŞ

Futbol günümüz formuyla İngiltere'de ortaya çıkmış, kitleleri peşinden sürükleyen bir spor dalıdır. Günümüzde düzenlenen uluslararası futbol organizasyonları tüm dünyanın ilgisini çekmektedir. Örneğin, 2016'da UEFA tarafından düzenlenen 2016 Avrupa Futbol Şampiyonası'nın final maçına kadar 6 milyar kez izlenildiği, final maçının ise 300 milyon kişi tarafından takip edildiği açıklanmıştır [**1**]. Bu tip uluslararası turnuvalar ve olimpiyat oyunlarına ev sahipliği yapmak, ülkeler açısından uluslararası platformda büyük bir prestij kaynağıdır. Bu organizasyonların ev sahipliğini yapabilmek için ülkeler, yüksek maliyetlerle yeni stadyumlar inşa etmektedir. FIFA tarafından 2014 yılında Brezilya'nın ev sahipliğinde düzenlenen Dünya Kupası maçları 6'sı yeni yapılan 12 stadyumda oynanmıştır. Bu stadyumların inşası ve yenilemeleri için 3,6 milyar dolar harcanmıştır [**2**]. Ayrıca futbol kulüpleri açısından stadyumlar kulübün simgesi, taraftarlar açısından ise adete bir mabet olarak görülmektedir. Stadyumlar artık sadece maç günü kullanılan birimler olmaktan çıkmış, müze, restoran, toplantı salonları, alışveriş noktaları vb. birimler eklenerek maç günü dışında da kullanılmaktadır. Günümüzde kulüplerin ve taraftarın beklentisini karşılayabilmek için büyük meblağlarla, yüksek seyirci kapasiteli stadyumlar inşa edilmektedir.

Taraftarlar, oyuncular ve kulüp açısından bakıldığında maç atmosferinin iyi olması beklenilmektedir. Bu atmosfer, taraftarların tezahüratlarının en etkili bir şekilde oyunculara ulaştırılması anlamına gelmektedir. Bu tezahüratların yüksek ses düzeylerine ulaşması ve taraftarların tezahürat sırasında birlikteliklerini artırabilmek için tezahüratların anlaşılabilirliğinin yüksek olması stadyum kullanıcıları tarafından beklenmektedir. Stadyum içerisinde uygun akustik ortam özelliklerini, stadyum içerisindeki ses düzeyinin özellikle saha içerisinde olabildiğince yüksek, tribünlerde ise anlaşılabilirliğin iyi olması olarak belirtebiliriz.

2. STADYUMLARIN MİMARİ ve AKUSTİK TASARIMI

2.1. Stadyumların Tasarımı İle İlgili Genel İlkeler ve İlgili Standartlar

Türkiye Futbol Federasyonu (TFF) 1923'ten beri Uluslararası Futbol Federasyonu Birliği'nin (FIFA) ve 1962'den beri Avrupa Futbol Federasyonları Birliği'nin (UEFA) bir üyesidir [**3**]. İlgili kanunda belirtildiği gibi TFF "FIFA ve UEFA'nın yetkili organları tarafından konulan kuralların gereği gibi uygulanmasını sağlamak, ulusal talimatlar hazırlamak ve Türkiye'yi futbol ile ilgili konularda yurt dışında temsil etmek" [**4**] ile hükümlüdür. FIFA ve UEFA futbolda oyun kuralları ve standartları belirlemekte ve kendisine bağlı federasyonlardan da bu standartlara uymalarını beklemektedir. Bu kural ve standartlar arasında stadyum tasarımı ile ilgili belirlemelerde bulunmaktadır. Bu standartlardan bazıları;

- FIFA Futbol Stadyumları – Teknik Tavsiyeler ve Gereksinimler – 5. Baskı [**5**]
- FIFA Stadyum Emniyet ve Güvenlik Talimatı [**5**]
- UEFA Stadyum Altyapı Talimatı – 2010 [**6**]
- UEFA Emniyet ve Güvenlik Talimatı – 2006 [**6**]
- UEFA Stadyum Aydınlatma Rehberi – 2016 [**6**]

- Herkes için Erişim – Erişilebilir Stadyum ve Maç Günü Deneyimi Yaratmak için UEFA ve CAFE İyi Uygulama Kılavuzu [**6**]
- UEFA Kaliteli Stadyum Rehberi – 2012'dir [**6**].

Ülkemizde stadyumlar ile ilgili denetimi yapan kurum TFF'ye bağlı olan Stadyum ve Güvenlik Müdürlüğü'dür. Stadyum ve Güvenlik Müdürlüğü ile ilgili talimatlar;

- Stadyum Güvenlik Talimatı
- Akreditasyon Talimatı
- UEFA Stadyum Altyapı Talimatı – 2010
- FIFA Güvenlik Talimatı [**7**].

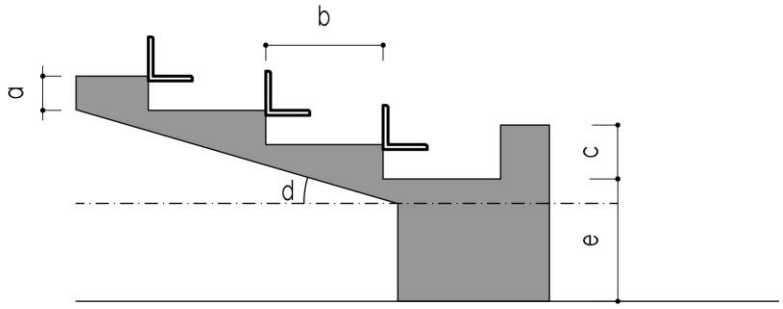
Stadyum ve Güvenlik Müdürlüğü ile ilgili kanunlar ve yönetmelikler ise;

- 5149 sayılı sporda şiddet ve düzensizliğin önlenmesine dair kanun
- 5188 sayılı özel güvenlik kanunu
- Emniyetle ilgili diğer mevzuatlar (yangın, ilkyardım, vb.) [**7**]

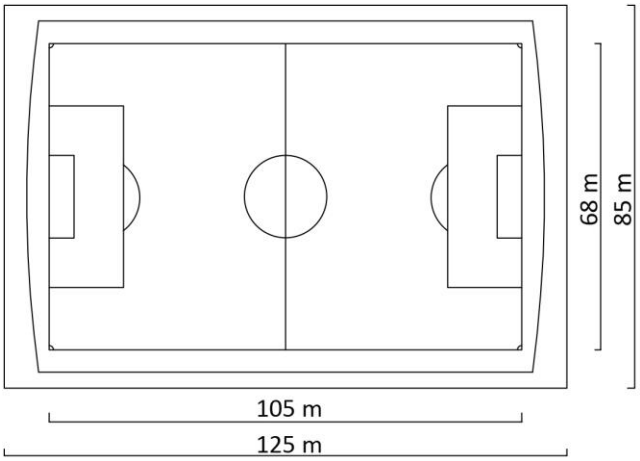
2.2. Stadyumların Mimari ve Akustik Tasarımı

Stadyum ile ilgili standartlar ve yönetmeliklerde stadyum tasarımı ile ilgili belirli ölçüler ve güvenlik sınırlamaları bulunmaktadır. Ayrıca stadyumlarda bulunan seslendirme sistemi ve stadyumların gürültü denetimi ile ilgili de birkaç noktaya değinilmiştir. Bunlardan bazıları;

- Oyun alanı ölçüleri 125 m x 85 m'dir (**Şekil 2**).
- Seyirci koltukları en az 50 cm genişliğinde, sıralar arasındaki uzaklık ise en az 80 cm genişliğinde olmalıdır (**Şekil 1**).
- Tribün eğimi en fazla 34° olmalıdır (**Şekil 1**).
- Tribün basamak yüksekliği en az 30 cm olmalıdır (**Şekil 1**).
- Tribünlerde ilk sıranın zeminden yüksekliği en az 1 metre olmalıdır (**Şekil 1**) [**8**].



Şekil 1: Seyirci alanı ile ilgili bazı ölçüler a (basamak yüksekliği) : en az 30 cm, b (sıralar arasındaki uzaklık) : en az 80 cm, c : en az 80 cm, d (tribün açısı) : en fazla 34°, e (sahadan yükseklik) : en az 100 cm [**8**]



Şekil 2: Stadyum oyun alanı ölçüleri [**8**]

Standart ve yönetmeliklerde seslendirme sistemi için anlaşılabilirliğin önemi vurgulanmaktadır. En iyi düzeyde anlaşılabilirlik için hoparlör düzeni;

- Sabit seyirci koltuklarının olduğu bölgede ses sistemindeki STI (speech transmition index) değeri 0.55 den az olmamalıdır. [**8**]
- Sürekli ses düzeyi 100 dB(A) den, en yüksek ses düzeyi ise 105 dB(A) den düşük olmamalı ve seyirci alanına doğrudan gelen ses düzeyindeki ayrımlar ise +/- 3.5 dB(A) dan fazla olmamalıdır. [**8**]
- Oturma alanında ölçülen frekans yanıtı 120 Hz ile 5000 Hz aralığında ki ayrımlar +/- 3 dB olmalıdır. [**8**]
- Hoparlör sistemi, ses düzeyindeki ani artışlarda dahi stadyum içerisinde ve dışarısında kalabalığın gürültüsünün üzerinde bir ses düzeyine sahip olmalıdır [**9**].
- Gürültü denetimi ve amaçlanan STI değerlerini sağlamak açısından oturma alanlarını, çatı ön yüzeyi ve diğer mimari elemanlarda kullanılacak gereçlerin NRC değeri ise 0.9 olmalıdır. [**8**]

2.3. Stadyumlarda Akustik Ortam Özellikleri

Stadyum içerisinde oluşan sesi gürültü olarak nitelendirmek stadyum kullanıcıları açısından değerlendirdiğimizde doğru bir önerme değildir. Stadyum kullanıcı grubunun büyük bir bölümünü oluşturan taraftarlar ve futbolcular maç esnasında mümkün olduğunca yüksek ses düzeyi oluşmasını istemektedirler. Bu yüksek ses düzeyi oluşurken stadyumun değişik bölümlerinde konumlanan taraftarların birliktelik yakalayabilmesi için sesin anlaşılabilir olmasını gerekmektedir.

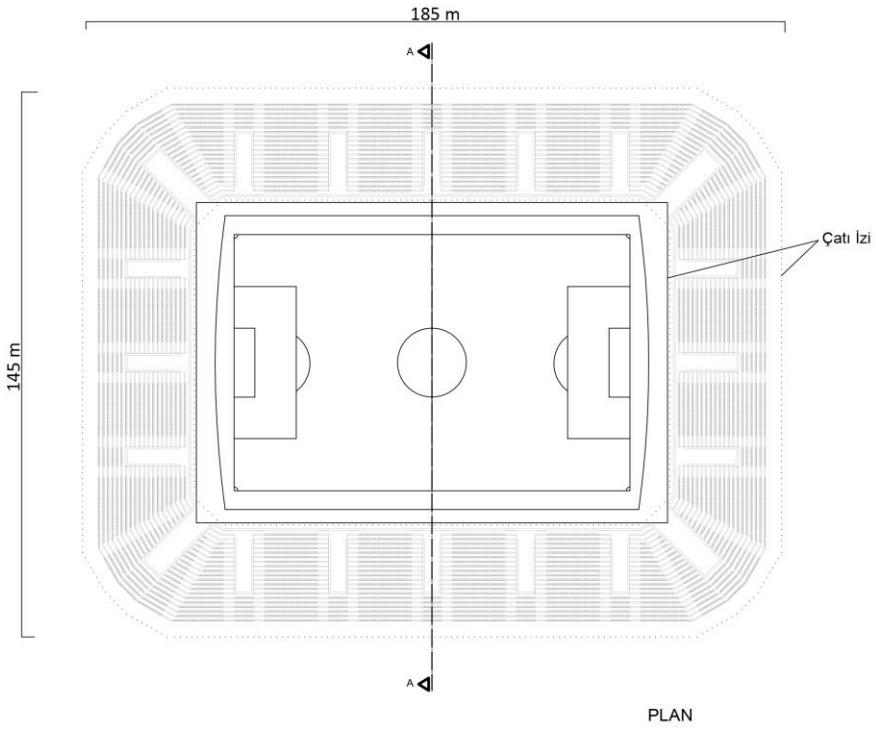
Anlaşılabilirlik için ise;

- Hacme göre optimum aralıklarda olan ve frekanslara göre değişimi de optimum aralıklarda yer alan yansışım süresi,
- Netlik açısından en az $C_{50} > -2$ dB değerleri karşılanmalıdır.
- Güç değeri ise 500-1000 Hz ortalaması olarak G>0 dB olmalıdır.

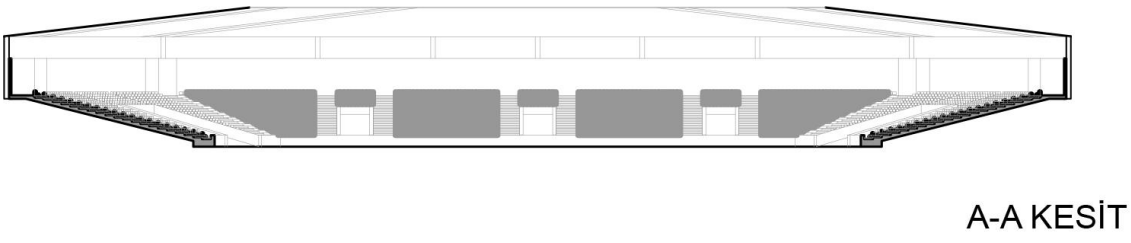
- STI değeri ise en az 0.6 olmalıdır.
- Bas oranı ise 0.9-1 aralığında olmalıdır [**10**].

3. STADYUMLARDA UYGUN AKUSTİK ORTAMIN OLUŞTURULMASINDA KANOPİ ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

İncelenen standartlar ve yönetmeliklere bağlı olarak stadyum üzerinde çatı etkisini değerlendirmek üzere 12156 kişilik stadyum tribünleri tasarlanmıştır. Bu tribünler yüksek ses düzeyi elde edebilmek için sahaya mümkün olan en yakın mesafelerde konumlandırılmıştır. Stadyum çanağı ise oval olarak düşünülmüştür (**Şekil 3**). Tribün basamak yükseklikleri 30 cm olarak belirlenmiş, 20 sıradan oluşan tribünler tasarlanmıştır. Böylece en düşük tribün 1 metre yüksekliğinde, en yüksek tribün ise 7 m yüksekliğinde konumlandırılmıştır. Çatı kanopisi ise %7 eğimli olarak düşünülmüştür. Çatı strüktürü tribünlerin 8 m üzerinden başlamaktadır (**Şekil 4**).



Şekil 3: 12.156 kişilik stadyum modeli tribün planı



Şekil 4: Stadyum modeli A-A kesiti

3.1. Stadyum Modeliyle ilgili Akustik Simülasyonların Yapılması

Yapılacak olan simülasyon çalışması için gereç kararları verilirken, öncelikle günümüz stadyumlarında kullanılan gereçler incelenmiştir. Stadyumların büyük bir bölümünü seyircilerin bulunduğu tribünler oluşturmaktadır. Maç esnasında tribünlerin büyük çoğunluğunun dolu olduğunu düşünecek olursak, stadyum içerisindeki ses kaynağını oluşturan seyircilerin sayısı ayrıca ses yutuculuğu açısından da önemlidir.

Çatı strüktüründe ise günümüzde kullanılan gereçler incelenmiştir. Stadyumlarda çatılar genelde büyük açıklıkları geçen çelik sistemler üzerine, polikarbon, fiberglass veya kumaş esaslı gereçler kullanılarak yapılmaktadır. Bu çalışmada çatı strüktürü için kullanılacak olan gereçlerden biri stadyum örtülerinde sıklıkla kullanılan ETFE (etilentetrafloroetilen) membrandır. ETFE membran hafif, su geçirmez, akustik açıdan yüksek yansıtma çarpanına sahip, ışık geçirgen ve uzun kullanım ömrü olan bir gereçtir [**11**]. Çalışmada kullanılan bir diğer gereç ise akustik membran ve kumaş örtüdür (nonwoven fabric).

Prototip olarak tasarlanmış olan stadyumun akustik simülasyonları için seçilen gereçlerin 6 oktav bant aralığındaki yutma çarpanı değerleri aşağıda yer almaktadır.

Çizelge 1: Çeşitli yüzey ve gereçlerin 6 oktav bant aralığında yutma çarpanı değerleri

Gereçler	125	250	500	1000	2000	4000
ETFE Membran [**11**]	0,30	0,35	0,44	0,28	0,12	0,02
Karışık dinleyici, oturmuş [**12**]	0,23	0,33	0,38	0,38	0,39	0,39
Plastik doku kaplı, açılır kapanır koltuk [**12**]	0,17	0,39	0,40	0,39	0,33	0,30
Akustik Membran[**13**]	0,70	0,80	0,56	0,70	0,72	0,68
Beton blok, kaba[**14**]	0,36	0,44	0,31	0,29	0,39	0,25
Merion bluegrass çim yüzey [**15**]	0,11	0,26	0,60	0,69	0,92	0,99
Kumaş Örtü [**16**]	0,01	0,01	0,05	0,10	0,25	0,55

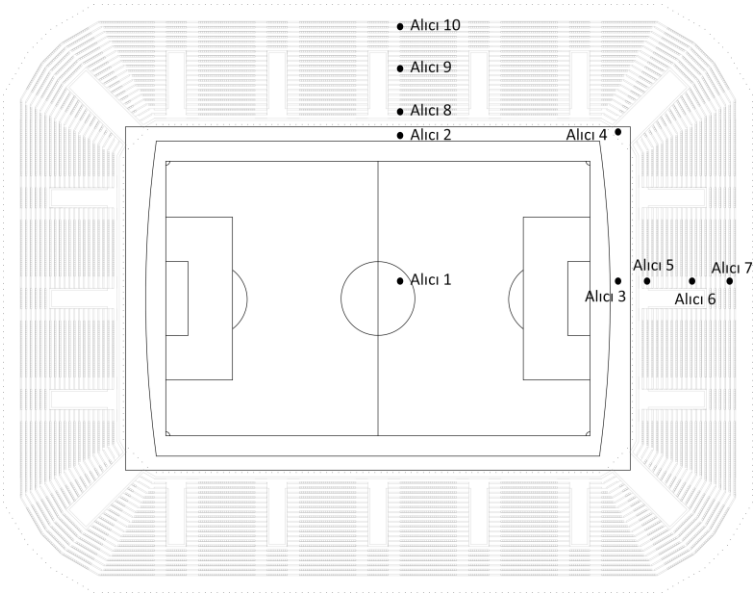
Simülasyon çalışmasında kaynak olarak taraftarların bulunduğu tribünler gösterilmiştir. Tribünlerde oturan insanların yan yana bulunmaları göz önüne alındığında, ses kaynağının alan kaynak etkisi yaratacağı düşünülmüş ve hesaplamalar ona göre yapılmıştır. Her bir tribün sırasında yer alan kullanıcı sayısına göre alan kaynakların ses gücü düzeyleri ayrı olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 2: 6 oktav bant aralığında bağıran insan (erkek) ses düzeyi - dB [**17**]

	125	250	500	1000	2000	4000
Bağıran insan ses düzeyi (erkek)	44	68	75	81	76	71

4. DEĞERLENDİRME ve SONUÇ

Prototip olarak tasarlanan stadyumun akustik simülasyon için program gereksinimlerine göre 3 boyutlu modellemesi yapılmıştır. Stadyumdaki çatı etkisini inceleyebilmek için akustik simülasyonda çatılı ve çatısız stadyum modellemeleri yapılıp, simülasyon sonucunda elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. Çatılı modelde kanopi eğimi % 7 olarak belirlenmiş, kanopi kaplama gereçleri değiştirilerek simülasyonlar yapılmış ve ses düzeyi başta olmak üzere elde edilen akustik parametreler birbirleri ile ve çatısız modelde elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Yapılan simülasyonlarda, yaklaşık ayakta duran insan kulağı yüksekliği olan 1.60 m kotundaki düzlem 5 metre aralıklarla bölünmüş grid alıcı yüzeyi olarak belirlenmiştir. Ayrıca saha içerisinde ve tribünlerde çeşitli bölgelere nokta alıcılar yerleştirilmiştir **(Şekil 5)**.



Şekil 5: Stadyum modeli içerisinde alıcıların yerleşimi

Stadyum modelinin akustik simülasyonu sonucunda saha ve tribünler için ses düzeyi (SPL(A)), konuşma iletim göstergesi (STI) ve erken düşme süresi (EDT) değerleri elde edilmiştir.

Yapılan simülasyon çalışmalarında elde edilen sonuçlar **Çizelge 3,4,5,6** 'da verilmiştir.

Çizelge 3: Grid alıcı yüzey sonuçları (X(5), X(50), X(95)* değerleri)
* Hesaplanan alıcı yüzeyin belirli yüzdesi için aşılmayan değerler.

	STI			SPL(A) (dB)			EDT (s)		
	X(5)	X(50)	X(95)	X(5)	X(50)	X(95)	X(5)	X(50)	X(95)
Çatısız Stadyum	0,46	0,51	0,58	76,8	78,6	79,2	0,96	1,70	2,63
ETFE Membran	0,41	0,45	0,51	79,0	80,1	80,9	1,22	1,93	2,57
Akustik Membran	0,43	0,47	0,54	78,0	79,4	80,0	1,08	1,86	2,70
Kumaş Örtü	0,41	0,45	0,51	79,4	80,3	81,1	1,27	2,04	2,64

Saha düzlemi üzerine atanan grid alıcı yüzey için bulunan simülasyon sonuçlarına göre, saha içerisinde kullanıcıların da istekleri doğrultusunda en fazla ses düzeyi yutma çarpanı çok düşük olan kumaş örtü gereciyle elde edilmiştir. Yutma çarpanı değerleri düşük olan ve günümüz stadyumlarında sıkça kullanılan bir gereç olan ETFE membran ile de kumaş örtü ile elde edilen sonuçlara yakın değerler elde edilmiştir. Sahada en düşük ses düzeyi beklenildiği üzere çatısız stadyum modelinde elde edilmiştir. STI değerleriyle ilgili değerlendirme yapılmadan önce, sanal modellemelerin gerçek ortamla yeterince uyumlu yapıldığı durumlarda STI değerlerinin doğru bir şekilde tahmin edilebileceğini [**18**] belirtmek gerekir. Anlaşılabilirlik açısından STI değerlerini karşılaştırdığımızda, çatısız stadyumda en yüksek değerler elde edilmiş, en düşük değerler ise ETFE membran ve kumaş örtü kullanıldığı durumlarda elde edilmiştir. STI değerlerindeki ayırt edilebilirlik farkı 0.03 olduğu göz önüne alındığında, [**19**] anlaşılabilirlik açısından akustik membranın ETFE memran ve kumaş örtüye göre daha iyi bir gereç olduğunu söyleyebiliriz.

Çizelge 4: Nokta alıcılar için ortalama sonuçlar

	STI	SPL(A) (dB)
Çatısız Stadyum	0,60	79,91
ETFE Membran	0,53	81,79
Akustik Membran	0,55	80,77
Kumaş Örtü	0,53	82,14

Çizelge 5: Nokta alıcılar için STI değerleri

	Çatısız	ETFE	Akustik Membran	Kumaş Örtü
Alıcı 1 (saha içi orta)	0,58	0,54	0,55	0,54
Alıcı 2 (saha içi ön)	0,47	0,57	0,56	0,58
Alıcı 3 (saha içi kale arkası)	0,47	0,48	0,49	0,47
Alıcı 4 (saha içi köşe)	0,47	0,49	0,46	0,48
Alıcı 5 (Kale arkası ön)	0,69	0,54	0,58	0,54
Alıcı 6 (kale arkası orta)	0,55	0,43	0,46	0,43
Alıcı 7 (kale arkası arka)	0,63	0,43	0,47	0,44
Alıcı 8 (tribün ön)	0,57	0,51	0,52	0,53
Alıcı 9 (tribün orta)	0,66	0,57	0,61	0,57
Alıcı 10 (tribün son)	0,87	0,74	0,78	0,74

Çizelge 6: Nokta alıcılar için SPL(A) değerleri

	Çatısız	ETFE	Akustik Membran	Kumaş Örtü
Alıcı 1 (saha içi orta)	78,3	80,1	79,5	80,4
Alıcı 2 (saha içi ön)	76,9	82,3	81,2	82,8
Alıcı 3 (saha içi kale arkası)	76,8	78,9	77,7	79,3
Alıcı 4 (saha içi köşe)	75,1	80,2	77,8	80,8
Alıcı 5 (Kale arkası ön)	82,3	82,4	81,9	82,7
Alıcı 6 (kale arkası orta)	80,2	80,2	78,8	80,6
Alıcı 7 (kale arkası arka)	81,0	80,8	79,6	81,2
Alıcı 8 (tribün ön)	79,7	83,3	82,4	83,6
Alıcı 9 (tribün orta)	81,4	82,8	82,2	83,0
Alıcı 10 (tribün son)	87,4	86,9	86,7	87,0

Çizelge 7: Nokta alıcılarda 6 oktav band aralığında elde edilen ortalama EDT (s) değerleri

	125	250	500	1000	2000	4000
Çatısız Stadyum	2,22	2,22	2,10	2,09	2,01	1,72
ETFE Membran	3,23	2,83	2,81	2,72	2,38	1,96
Akustik Membran	2,89	2,63	2,80	2,61	2,25	1,94
Kumaş Örtü	3,20	3,04	2,93	2,82	2,32	1,99

Nokta alıcılar açısından sonuçları değerlendirirsek, ortalama ses düzeyi olarak en iyi sonuçlar grid alıcı yüzeyde olduğu gibi kumaş örtü gereciyle elde edilmiştir. Stadyumun çatısız olduğu durumda, saha içinde ve tribünlerde en düşük ortalama ses düzeyinin elde edildiği belirlenmiştir. Ortalama STI değerleri ise, grid alıcı yüzey üzerinde elde edilen değerlerle paralel sonuçlar vermiştir. Ortalama EDT değerlerine bakılacak olursa çatısız stadyum modeli dışında diğer modellerde düşük frekanslarda elde edilen değerler ile yüksek frekanslarda elde edilen değerler arasındaki ayrımlar göze çarpmaktadır. Yansıtma çarpanı düşük olan ETFE membran ve kumaş örtü gereçlerinde ise düşük frekanslarda elde edilen EDT değerleri akustik membrana göre daha fazladır.

Nokta alıcılar için hesaplanan STI değerleri karşılaştırıldığında, kanopi gereçlerinin hepsinde de tribünlerde elde edilen en yüksek STI değerleri kale arkası tribün için ön kısım, diğer tribünlerde ise arka kısımlarda elde edilmiştir. Kale arkasında elde edilen STI değerleri, diğer tribünlerde elde edilen değerlere göre düşüktür. Bu da anlaşılabilirliğin kale arkasında ön kısım haricinde daha az olduğu anlamına gelmektedir. Tribünlerde elde edilen sonuçlara göre, en yüksek STI değerleri çatısız stadyumda elde edilmiştir. Akustik membran gereciyle ise kumaş örtü ve ETFE'den yüksek değerler elde edilmiştir. Kumaş örtü ve ETFE gereçleriyle ortalama sonuçlarla paralel olarak tribünlerdeki nokta alıcılarda da aynı değerler elde edilmiştir.

Nokta alıcılar için hesaplanan ses düzeyleri karşılaştırıldığında ise, tribünlerde elde edilen değerlerin saha içindekilerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Kale arkasında elde edilen değerler ise çatısız stadyum modeli simülasyonu dışında diğer tribünlerden daha düşüktür. Bunun nedeni kale arkası tribünlerinin diğer tribünlere olan uzaklığının dolayısıyla diğer ses kaynaklarına olan uzaklığının fazla olması olarak değerlendirilmektedir. Tribünlerde en yüksek ses düzeyleri, kanopi kaplama gereci olarak kumaş örtü ya da ETFE kullanıldığı durumlarda elde edilmiştir; bu iki gerecin akustik açıdan yansıtıcılık özellikleri birbirine yakındır. Nokta alıcılardaki en düşük ses düzeyleri ise çatısız stadyum modelinde elde edilmiştir.

Gerek stadyum çevresindeki konut yerleşimleri, eğitim yapıları gibi gürültüye duyarlı yapılaşmalar açısından gürültü denetimi sağlamak gerekse stadyum kullanıcılarını güneş, yağmur, rüzgar gibi çevresel etkenlerden korumak amacıyla stadyumların, genellikle tribünleri koruyan bir kanopi örtüsü ile birlikte tasarlanması gerekmektedir. Simülasyon sonuçlarına göre; kanopi kaplaması olarak kullanılan yutma çarpanı düşük gereçlerle saha içinde daha yüksek ses düzeyleri elde edilmesine karşın, akustik membran gibi yutma çarpanı yüksek bir gereçle daha iyi anlaşılabilirlik değerleri elde edilebilmektedir. Bununla birlikte örnek bir çalışma olarak gerçekleştirilen akustik simülasyonlar sonucunda elde edilen veriler, kanopi kaplama gerecinin ve diğer yüzeylerde kullanılabilecek yüzey gereçlerinin sahada ve tribünlerde yeterli ses düzeyi ve anlaşılabilirlik açısından akustik ortamı etkilediğini ve stadyumların tasarım aşamasında akustik simülasyonların yapılmasının önemini göstermektedir.

KAYNAKLAR

1. ESPN FC, Portugal vs. France Euro 2016 Final to Attract Up to 300m Viewers – UEFA, http://www.espnfc.com/european-championship/story/2910654/portugal-vs-france-euro-2016-final-to-attract-up-to-300m-viewers-uefa
2. FIFA, 2014 FIFA World Cup Reached 3.2 Billion Viewers, One Billion Watched Final, http://www.fifa.com/worldcup/news/y=2015/m=12/news=2014-fifa-world-cuptm-reached-3-2-billion-viewers-one-billion-watched--2745519.html,
3. "Türkiye Futbol Federasyonu Statüsü", s. 7
4. 5894 sayılı Türkiye Futbol Federasyonu Kuruluş ve Görevleri Hakkında Kanun Madde 3.1.c. (05.05.2009). Resmi Gazete Tarih: 16/5/2009 Sayı: 27230
5. FIFA, Laws and Regulations, http://www.fifa.com/about-fifa/official-documents/law-regulations/index.html
6. UEFA, Regulations, http://www.uefa.com/insideuefa/documentlibrary-/regulations/index.html
7. Türkiye Futbol Federasyonu, Stadyum ve Güvenlik Müdürlüğü, http://www.tff.org/default.aspx?pageID=174
8. FIFA, Futbol Stadyumları – Teknik Tavsiyeler ve Gereksinimler – 5. Baskı , (2011).
9. Union of Eurepean Football Associations (UEFA), UEFA Safety And Security Regulations, Nyon, (2006).
10. Z., Yüksel Can, Hacim Akustiği Kuramı Ders Notları, 2014 – 2015.
11. J. I., Llorens, Fabric Structures In Architecture – Woodhead Publishing Series In Textiles: Number 165, Woodhead Publishing, Cambridge.
12. Ş., Sirel, Yapı Akustiği 1 Temel Bilgiler, İnkılap ve Aka Basımevi, İstanbul, (1974).
13. Saint-Gobain, Sheerfill Fabrasorb Acoustical Membrane, https://www.sheerfill.com/product-solutions/fabrasorb, 22 Kasım 2017.
14. ODEON Acoustic Software 9 Combined, Material List
15. W., Siekman, Outdoor Acoustical Treatment: Grass and Trees, The Journal of the Acoustical Society of America, 46, (1969), pp: 863-864.
16. M., Toyoda, D., Takahashi, Reduction of Rain Noise From Ethylene/TetraFluoroEthylene Membrane Structures, Applied Acoustics, 74, (2013), pp: 1309-1314.
17. I., R., Cushing, F., Li, T. J., Cox, K., Worrall, T., Jackson, Vocal Effort Levels in Anechoic Conditions, Applied Acoustics 72, (2011), pp: 695-70.
18. P., Zhu, F., Mo, J., Kang, G., Zhu, Comparisons Between Simulated and In-situ Measured Speezh Intelligibility Based on (Binaural) Room Impulse Responses, Applied Acoustics, 97, (2015), pp: 65-77.
19. J., S., Bradley, R. Reich, S., G., Norcross, A Just Noticeable Difference in C_{50} For Speech, Applied Acoustics, 58, (1999), pp: 99-108.

3.Ulusal
Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi

10-11 Mayıs 2018
İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul

YAKLAŞIK SIFIR ENERJİLİ BİNA UYGULAMALARINDA KARŞILAŞILAN ENGEL VE ZORLUKLARA GENEL BİR BAKIŞ

Korhan Demir[a]
Şeyma Durak[b]
Doç. Dr. Yusuf Yıldız[c]
BAUN Mimarlık Fakültesi Çağış Yerleşkesi, Altıeylül/Balıkesir, 10145

ÖZET

Artan enerji talebi ve her geçen gün azalan mevcut doğal kaynakların durumu yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını kaçınılmaz hale getirmiştir. Avrupa Birliği'nin enerji verimini arttırmaya yönelik çalışmalarının sonucu 2002 yılında yayınlamış olduğu Binalarda Enerji Performansı Direktifi'nin 2010 yılındaki revizyonuyla birlikte, yaklaşık sıfır enerjili bina (NZEB) kavramı ortaya çıkmıştır. Bu kavramın ortaya çıkmasıyla birlikte, Avrupa Birliği ülkelerinde 2019 yılından itibaren tüm yeni kamu binaları, 2021 yılından itibaren de tüm yeni binalar yaklaşık sıfır enerjili bina olmak zorundadır. Avrupa yapı sektöründe, yaklaşık sıfır enerjili binalara geçiş dönemi Avrupa Birliği 2020 karbon hedefleri doğrultusunda mevcut eksiklikleri gidermeyi hedeflemektedir. Fakat NZEB binalarının hayata geçirilmesi sürecinde ülkelerin karşılaşacakları çeşitli engel ve zorluklar mevcuttur. Bu çalışmanın amacı, Avrupa ülkelerinde mevcut binalar için NZEB yenileme kararı alma ve uygulama safhasında karşılaşılan engelleri derlemek ve tartışmaktır. Bu nedenle çalışma kapsamında Avrupa Birliğine üye 8 ülkenin NZEB ile ilgili çalışmaları incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Saptanan bulgulara bakıldığında, bu süreçleri güçleştiren potansiyel faktörlerle karşılaşılmıştır. Bu faktörler teknolojik zorluklar, ekonomik ve finansal zorluklar, yasal zorluklar, teşvik eksikliğinden kaynaklanan zorluklar, bilinç ve bilgi eksikliğinden kaynaklanan zorluklar, sosyal ve davranışsal zorluklar olarak farklı ölçeklerde karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmanın ülkemiz açısından konu ile ilgili gerekli potansiyel bilincin artması, üst ölçekteki çözümler için bir altyapı oluşturması öngörülmektedir.

Anahtar sözcükler: Yaklaşık sıfır enerjili bina, enerji verimliliği, engel ve zorluklar

ABSTRACT

Increased energy demand and the situation of ever-decreasing existing natural resources have made the use of renewable energy sources inevitable. Nearly zero energy building (NZEB) concept emerged with the revision of the Energy Performance Directive in 2010, which was published in 2002 by the European Union to improve energy efficiency. With the emergence of this concept, all the new public buildings in the European Union countries from 2019 and all new buildings from 2021 have to be nearly zero energy buildings. In the European building sector, the energy-efficient and almost zero energy building transition period aims to fill the gaps in the direction of the European Union 2020 carbon targets. But at the crossroads of NZEB buildings there are various barriers and challenges that countries will face for new and existing buildings. The aim of this study is to compile and discuss the barriers in the NZEB renewal decision-making and renewal process for existing buildings in European countries that may vary according to local conditions. For this reason, the studies of NZEB of 8 EU Member States have been examined and evaluated. Given the findings, potential factors have been encountered that make these processes difficult. These factors appear at different scales as technological difficulties, economic and financial difficulties, legal difficulties, difficulties due to lack of incentives, difficulties due to lack of consciousness and knowledge, social and behavioural difficulties. It is envisaged that this work will raise the necessary awareness of the issue in terms of our country and provide an infrastructure for solutions in the upper order.

Key words: Nearly zero energy building, energy efficiency, barriers and difficulties

[a] e-posta adresi: korhan519@gmail.com
[b] e-posta adresi: seymadurak22@gmail.com
[c] e-posta adresi: yusifyildiz@gmail.com

1. GİRİŞ

Dünya'da enerji tüketimi 1980'den bu yana %45 oranında artmıştır ve gün geçtikçe artmaya devam etmektedir. 2030 yılında bu artışın %70'ten daha fazla olacağı tahmin edilmektedir [1]. Enerji tüketiminin büyük bir bölümünün binalardan kaynaklandığı bilinmektedir. Avrupa'da ise binalarda %40 oranında enerji tüketimi olduğu gözlenmiştir. Tüm dünyada ve Avrupa'da birçok ülke enerji tasarruf potansiyelinden yararlanmak üzere ilgili yasal mevzuatlarını geliştirmektedir [2]. Bu nedenle, binalar için enerji performansı gereksinimlerinin belirlenmesi, binalara enerji kimlik belgelerinin verilmesi ve bu yolla binalarda enerji verimliliğinin teşvik edilmesi amacıyla Avrupa Parlamentosu tarafından 2002 yılında 2002/91/EC sayılı Binalarda Enerji Performansı Direktifi (EPBD) yayımlanmıştır [3].

Sonraki yıllarda, EPBD'nin güncel koşullar gözetilerek revize edilmesi sonucu 2010 yılında "EPBD-Recast" olarak adlandırılan 2010/31/EU sayılı revize direktif yayımlanmıştır [2]. EPBD-Recast, binalarda enerji verimliliği zorunluğunu da beraberinde getirmektedir. Bu kapsamda, revize direktif yeni bir kavram ortaya koymaktadır: yaklaşık sıfır enerji bina (NZEB). EPBD Recast'e göre, tüm Avrupa Birliği (AB) üyesi ülkeler, 2020 yılı sonu itibarıyla tüm yeni binaların yaklaşık sıfır enerji bina olmasını sağlamakla yükümlüdürler.

AB yasaları uyum sürecinde Türkiye'de de, EPBD kapsamında 2008 yılında "Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği" yayımlanmış olup, bu yönetmelikle tüm binalara BEP-TR hesaplama yöntemi kullanılarak 'enerji kimlik belgesi' verilmesi zorunlu hale getirilmiştir [4]. Bu süreç göz önüne alındığında, aynı şekilde EPBD-Recast kapsamında binalarda yaklaşık sıfır enerji seviyelerinin hesaplanmasının da yakın bir gelecekte Türkiye için bir zorunluluk haline geleceği öngörülmektedir. Mevcut yapı stokunun iyileştirilmesi de yeni binalar kadar önem arz etmektedir. Bu nedenle çalışmanın amacı, Avrupa ülkelerinde yerel koşullara göre değişkenlik gösterebilecek mevcut binaların NZEB olarak yenilenmeleri konusundaki karar verme ve uygulama süreçlerinde karşılaşılabilecek engelleri ve zorlukları derlemek ve tartışmaktır. Çalışma kapsamında Avrupa Birliği'ne üye 8 ülkenin NZEB ile ilgili politikaları incelenmiş ve mevcut binaların NZEB'e dönüşümü sırasında karşılaşılan güçlük ve engeller değerlendirilmiştir.

2. YAKLAŞIK SIFIR ENERJİLİ BİNA KAVRAMI

Yaklaşık sıfır enerjili bina kavramı, Binalarda Enerji Performansı Revize Direktifi (EPBD-Recast) ile ortaya çıkmıştır. Bu direktifte yaklaşık sıfır enerjili bina, çok yüksek enerji performansına sahip bina olarak tanımlanmıştır ve ihtiyaç duyulan az miktardaki enerjinin çoğunlukla yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması zorunlu hale getirilmiştir. Bu tanımda belirtilen "çok yüksek enerji performansı" için mevzuata bağlı standart bir değer verilmemiş olup, her AB üyesi ülkenin hesaplamalar yolu ile kendi ulusal koşullarına uygun şekilde bu seviyeyi belirlemesi beklenmektedir [2, 5].

Yaklaşık sıfır enerjili bina kavramının ortaya çıkmasıyla birlikte, Avrupa Birliği ülkelerinde 2019 yılından itibaren tüm yeni kamu binaları, 2021 yılından itibaren de inşa edilecek tüm yeni binalar yaklaşık sıfır enerji bina olmak zorundadır. Avrupa yapı sektöründe, enerji etkin ve yaklaşık sıfır enerjili binalara geçiş dönemi Avrupa Birliği 2020 karbon hedefleri doğrultusunda mevcut boşlukları doldurmayı hedeflemektedir. Fakat, mevcut binaların NZEB'e dönüştürülmesi

noktasında ülkelerin karşılaştıkları çeşitli engel ve zorluklar mevcuttur. Takip eden bölümlerde, Avrupa ülkelerindeki mevcut binaların NZEB dönüşümlerine karar verme ve uygulama aşamasında karşılaşılan engeller değerlendirilmiştir.

3. NZEB'LERİN UYGULANMASI AŞAMASINDA KARŞILAŞILAN DESTEKLEYİCİ ETKENLER VE ENGELLER

NZEB'lerin uygulanmasına yönelik farklı destekleyici etkenler mevcuttur. Bunlardan ilki, yasa ve yönetmeliklerdir. Yasal düzenlemelerin, NZEB'lerin uygulanmasında en kuvvetli destekleyici etken olduğu söylenebilir. EPBD ve diğer AB direktifleri, destekleyici birçok farklı noktayı kapsamaktadır. Bir diğer destekleyici etken ise taleptir. NZEB'lere yeterli talep olması market oluşumuna katkıda bulunacaktır. Bununla birlikte, yeterli talep olmaması da NZEB'leri olumsuz etkileyecektir. Bir diğer etken finansal destekler, NZEB dönüşümüne doğrudan avantaj sağlamaktadır. NZEB'lerin düşük enerji tüketimi kendisini cazip kılan bir diğer etkendir. Kamu sektörü desteği ancak bu yönde oluşturulacak kolay anlaşılabilir ve belirgin yasalarla sağlanabilir. Farkındalık da destekleyici etkenler arasındadır. NZEB'lerin yaşam için ne kadar konforlu olduğunun ve bunun çok düşük enerji tüketimleri ile sağlandığının kullanıcılar tarafından bilinmesi, NZEB uygulamalarının artması için gerekli bir faktördür. Bu konuda yapılacak eğitimler bilinci daha da arttırabilir [6,7,8].

Aynı zamanda NZEB'lerin uygulanmasında çeşitli engellerle karşılaşılmaktadır. Bunlardan ilki, ekonomik ve finansal engellerdir. NZEB standartlarını uygulama aşamasında karşılayabilmek için gereken mali desteğe erişim sıkıntısı önemli bir engeldir. Ayrıca yüksek ilk yatırım maliyeti ve bu maliyetin uzun geri dönüşüm süresi bir diğer engel olarak ortaya çıkmaktadır. Ülkelerin mevcut yasal düzenlemeleri NZEB için yeterli olmadığı durumlar da potansiyel bir engeldir. En çok karşılaşılan sorunlar ise net olmayan NZEB tanımı ve yasal tutarsızlıklardır. Bunların yanı sıra, teknoloji de engel olarak karşımıza çıkmaktadır. Çok fazla yaygınlaşmamış yeni teknolojilerin göstereceği performans, belirsizlik olarak engel teşkil etmektedir. NZEB uygulamalarında, büyük oranda bilgi ve beceri eksikliği mevcuttur. İnşaat sektöründe nitelikli denetleyici eksikliği de bir başka engeldir. İnşaat sektörünün mevcut organizasyon yapısı da engel olarak nitelendirilebilir. Mimarlar, mühendisler, müteahhitler, kiracılar, ev sahipleri ve vb. gibi çok sayıda paydaş içeren inşaat sektörü ve bunların tutarsız finansal talepleri, yenilikçi enerji etkin binalara yatırım konusunda yıldırıcı bir etki göstermektedir. Farkındalık ve bilgi düzeyi eksikliği de önemli bir engeldir. Profesyonellerin yeni çözümlere aşina olmaması, NZEB'lerden elde edilen iyi uygulanmış örneklerde veri eksikliği mevcut durumu zorlaştırmaktadır. Bu durum, karışıklık ve yanlış bilgi ortamı oluşturabilmektedir. Kurumsal engel olarak ise inşaat sektörü genel olarak kapalı bir yapıdadır. NZEB'lerin inşaatı için pratikte birçok değişiklik olması gerekirken, sektör içindekiler tarafından engellenebilmektedir. Bunların dışında, enerji tasarrufu sadece bir teknik konu değil, ayrıca kullanıcıların yaşam biçimlerine de bağlıdır. Sosyal ve davranışsal açıdan ortaya çıkan bu engeller, daha çok inşa sonrası aşamaları ilgilendirmektedir [6,7,8].

4. ÜLKE BAZINDA NZEB DÖNÜŞÜMLERİNE KARAR VERME VE YENİLEME AŞAMASINDA KARŞILAŞILAN ENGELLER

NZEB konusunda ilerleme kaydeden 8 Avrupa ülkesindeki mevcut binaların NZEB'e dönüştürülmesi safhasındaki engel ve zorluklar karar verme ve yenileme süreci olarak ikiye ayrılmış ve detaylı incelenmiştir. Ülke sayısını kısıtlayan en önemli faktör bazı ülkeler için yeterli bilgi bulunmaması ve bazı çalışmaların ağırlıklı olarak kendi dillerinde olmasıdır.

İSVEÇ

Karar verme süreçlerinde genel olarak karşılaşılan engeller aşağıda özetlenmiştir [7,8];

- Teknik engeller: Binanın yapısı ve mevcut durumuna göre teknik çözümlerin özellikleri, uygulanabilirlik açısından önemli bir etkiye sahiptir.
- Finansal engeller: Bakım bütçesi ve/veya enerji tasarrufu ile finanse edilen yenilemeler için mali kısıtlamalar, yenilenme kapsamını ve NZEB yenileme imkânını sınırlayabilir.
- Sosyal engeller: Bir binanın tarihi ve kültürel değerleri karar vermede etkilidir. Bu durum, karar verme sürecinde engel oluşturabilir. Bunun dışında, düşük gelirli kullanıcıların yaşadığı bölgelerde, enerji verimli binalar yapılması kiranın artmasına neden olmaktadır.
- Çevresel/sağlıksal engeller: Yenileme çalışmalarında, çevresel etkenlere dikkat edildiği için ayrıca bir sorun teşkil etmemektedir.
- Örgütsel ve yasal engeller: Seçim yapılabilecek farklı sözleşme türleri mevcuttur ve mülk sahiplerine göre farklılık göstermektedir.

Yenileme sürecindeki zorluklar [7,8];

- Teknik engeller: Mevcut teknik sistemlerin özelikleri ve binanın mevcut durumu çözümlerin seçimini etkilemektedir.
- Finansal engeller: NZEB yenilemesindeki karlılık, getiri gerekliliği ve bina sahibince yapılan yatırımın geri dönüşüne bağlı olduğu için belirsizdir. Büyük ölçekli yenilemeler yapılırken kiracıların tahliye edilmesi gerektiği için kiralardan gelir kaybı da oluşmaktadır.
- Sosyal engeller: NZEB çalışmalarında, kiracıların endişeleri önemli engellemelere neden olabilmektedir.
- Çevresel/sağlıksal engeller: NZEB yenilemesinde ve geleneksel yenilemede çevre/sağlık kriterleri açısından farklılık yoktur, ancak bina kabuğu ve hava geçirimsizliği değiştirilirken nem oluşma riski göz önüne alınmalıdır.
- Örgütsel ve yasal engeller: Büyük ölçekli NZEB yenilemeleri gerçekleştirilirken, organizasyonun ve personelin yeni çalışma süreçlerine ve iş görevlerine uyum sağlamaları gerekmektedir.

NORVEÇ

Karar verme sürecinde karşılaşılan engeller [7,8];

- Teknik engeller: Bilginin uzmanlar arasında yeterli paylaşılmaması bazı süreçlerin aksamasına neden olmaktadır.
- Finansal engeller: Yatırımın geri dönüşü her zaman uygulanabilir olmamaktadır. Kısa süreli periyotlarda yenileme harcaması gerektiği gibi ayrıca her 15-30 yılda bir, kapsamlı yenileme için harcama yapmak gerekmektedir. Bunun dışında, Norveç'teki enerji fiyatlarının düşük olması ve NZEB dışındaki onarım biçimlerine göre NZEB yenilemelerinin daha pahalı olması, yatırım noktasında isteksizliklere neden olmaktadır.
- Sosyal engeller: Kullanıcılar arasındaki bilgi eksikliğinin yanı sıra, NZEB için yüksek teknik sistemlerin gerekli olması, konutlarda 'Kendin Yap' yaklaşımını zor duruma getirmektedir. Ayrıca, mimari ve kültürel değerler teknik çözümlerin seçimini kısıtlamaktadır.
- Çevresel/sağlıksal engeller: Konut kalitesi genellikle yeterli düzeydedir. Fakat, zehirli olmayan materyallerin kullanılması ve enerji verimliliği sağlayan havalandırma sistemlerinin iyileştirilmesi konusunda çalışmalar eksiktir. Ayrıca piyasada, enerji açısından verimli evlerin sunacağı konforu gösteren bir yaklaşım bulunmamaktadır.
- Örgütsel ve yasal engeller: Yüksek enerji performans hedeflerine karşı isteksizlik, çalışmaları olumsuz etkilemektedir. Bunun nedeni de NZEB yenilemeleri için pazardaki zayıf talep ve yasal düzenleme eksikliğidir.

Yenileme sürecindeki zorluklar [7,8,9];

- Teknik engeller: Başarılı projeler için NZEB yenilemesi konusunda uzmanlara ihtiyaç duyulmaktadır.
- Finansal engeller: Maliyetin, özel projelerde her zaman ön planda tutulmaması teşvik edilmelidir. Bu durum devletin maddi açıdan yaptığı yardımlarla çözülebilir.
- Sosyal engeller: Kullanıcılarla iletişimin yenileme sırasında anahtar görevinde olduğu bilinmektedir. Bu nedenle küçük projelerde dahi, proje tamamlandıktan sonra iletişime devam edilmelidir. Bu takip, enerji performans hedeflerinin nasıl karşılandığını anlamak için gereklidir.
- Çevresel/sağlıksal engeller: Norveç, standart projelerde yüksek performans hedeflerine sahiptir ancak münferit projelerde daha yüksek performans hedefleri belirlenebilir.
- Örgütsel ve yasal engeller: Proje ekipleri arasında iletişim, taahhüt ve iş birliği yapmanın farklı zorlukları bulunmaktadır. Ancak iletişim, başarılı projeler için gereklidir. Norveç'te enerji dağıtımı ve havalandırma konularında düzenleme gereksinimleri üzerine görüşmeler sürmektedir.

POLONYA

Karar verme sürecinde engeller [7,9];

- Teknik engeller: NZEB uygulamalarını aksatan önemli bir engel, yatırımcılar, yükleniciler, tasarımcılar ve diğer profesyonellerin yaklaşık sıfır enerjili bina konusunda

yeterli bilgiye sahip olmamalarıdır. Yatırımcıların NZEB uygulamalarını tercit etmemesinin sebepleri bilinç eksikliği ve başarılı uygulamaların yetersizliğinden kaynaklanmaktadır.

- Finansal engeller: NZEB yenilemeleri standart ısı yalıtımından daha pahalıdır. NZEB yenileme uygulamaları için oluşturulmuş kompleks finansal bir model bulunmamaktadır. Yaklaşık sıfır enerjili binalar için devlet destek vermektedir ancak, bu destekten yalnızca yeni binalar faydalanabilmektedir. Yenileme uygulamaları bu destekten yararlanamamaktadır.
- Sosyal engeller: Kullanıcılar arasında enerji verimliliğinin önemi konusunda farkındalık yeterli değildir. Bu yüzden Polonya'da, yenilikçi enerji verimliliği çözümleri ile ilgili yeterli talep oluşmamaktadır. NZEB yenilemelerinin faydalarını ve avantajlarını açıklayan tanıtım veya eğitim faaliyetlerinin eksikliği görülmektedir.
- Örgütsel ve yasal engeller: Polonya'da yasal düzenlemeler, NZEB yenilemelerini teşvik etmemektedir. Örneğin; termo-yenileme programının bir parçası olan hibelere başvurmak için, enerji tüketimini inşaatın yapım tarihine ve diğer faktörlere bağlı olarak sadece %10, %15, %20 veya %25 oranlarında azaltmak yeterlidir. Bu oranlar binaların, NZEB'e dönüşümü için yeterli değildir. Çünkü Polonya'daki konutlar çok fazla enerji harcamaktadır. 1985 öncesinde inşa edilmiş binaların, yaklaşık 300 kwh/m^2/yıl enerji tükettiği gözlenmiştir. Bu durum, NZEB yenilemesini dolaylı yoldan etkileyen bir engeldir. Yatırımcılar bu kadar kapsamlı yenilemeleri gerçekleştirmek için yeterli motivasyona sahip değildir ve bu nedenle, hibe alabilmek için yalnızca en düşük gereksinimleri karşılamaktadırlar.

İSPANYA

Karar verme sürecinde engeller [9,10];

- Teknik engeller: Bazı çözümler, ekipman montajı için alan ve yeterli hacim olmaması veya mevcut sisteme uygun olmaması nedeniyle, bina yenilemelerinde uygulanamamaktadır.
- Finansal engeller: Bankalardan uzun vadeli kredi almak her zaman mümkün olmadığından yatırım sermayesine erişim, önemli bir mali engeldir.
- Sosyal engeller: İspanya'nın Akdeniz iklimine sahip bir ülke olması nedeniyle yılın sadece birkaç haftası soğuk havaya maruz kalınmaktadır. Birçok aile, düşük gelirli evlerde ısıtma-soğutma sistemi olmadan yaşamaktadır. Bunun yanı sıra, özellikle düşük gelirli ailelerin yaşadığı toplu konutlarda, binayı koruma kültürü olmaması, NZEB uygulamalarını zorlaştırmaktadır. Bunların dışında, bina sahiplerinin farkındalığını artırmak için çalışmalar yeterli seviyede değildir. Enerji verimli yenileme oluşumunun faydaları, geri ödeme süresi ve enerji faturalarının azaltılması gibi somut verilerle durum açıklanmalıdır.
- Örgütsel ve yasal engeller: Tarihi binaların kendine ait özel yasal düzenlemeleri vardır ve ayrıca estetik unsurlar da göz önünde bulundurulduğunda birçok çözümün uygulanamayacağı anlamına gelmektedir.

Yenileme sürecindeki zorluklar [9,10];

- Teknik engeller: Yenilikçi teknik çözümler, bina sahipleri veya inşaat şirketleri tarafından makul görülmemektedir. Yerel olarak ulaşılabilen, bakım ve garantisi ile birlikte "kanıtlanmış çözümler" tercih edilmektedir.
- Finansal engeller: Bina sahiplerinin yenileme yapabilmeleri için kamusal finansman desteği mutlaka gereklidir çünkü, kullanıcıların yenileme yapmak için maddi güçleri yetmemektedir. Asıl zorluk, kamusal finansman desteği olmaksızın NZEB kriterleriyle yenileme yapabilmektedir.
- Sosyal engeller: Bina sahiplerinin ilgisizliği karşılaşılan temel zorluktur çünkü, kullanıcılar yenileme sürecinde nihai karar vericilerdir.
- Çevresel/sağlıksal engeller: Bu konular önemli bir sorun teşkil etmemektedir.
- Örgütsel ve yasal engeller: Uzlaşma sağlamak ve kişisel tercihlerin üzerinde ortak menfaatler aramak için bina sahipleri ile diyalog ve iletişim gereklidir.

FRANSA

Karar verme sürecinde engeller [7];

- Teknik engeller/Mali engeller: Teknik unsurlar enerji performans seviyesini sınırlamaz, ancak ekonomik unsurlar teknik unsurların kullanımını sınırlar.
- Sosyal engeller: Konut sakinlerinin enerjiyi verimli kullanmayı önleyen davranışları ve yeniliklere karşı tutumları potansiyel engellerdir.
- Çevresel/Sağlıksal engeller: Toplu konutların yenilenmesinde eko-etiket kriterlerine uygun izolasyon malzemesi kullanımı, yüksek maliyeti nedeniyle yetersizdir.

Yenileme sürecindeki zorluklar [7,11];

- Teknik engeller: Binanın hava sızdırmazlığı konusunda zorluklar vardır, bu da uygulamaya bağlı birçok teknik düzenleme gerektirmektedir.
- Finansal engeller: Enerji yenilemeleri, genellikle konutun yenilenmesi (teknik ekipmanlar) ve iç mimari ile birlikte uygulanır. Bu durum maliyeti ekstra arttırmaktadır. Devlet desteği yeterli düzeyde değildir.
- Sosyal engeller: Yenileme sonrasında kiracıların takibi ve izlenmesi zorunludur. Her yıl kiracıların yaklaşık %10-12'si toplu konutlardan daire almayı düşünmektedir. Bu nedenle, kiracılar çalışmalardan önce ve sonra bilgilendirilmeli, takip edilmeli ve eğitilmelidir.
- Çevresel/sağlıksal engeller: İnsan yoğunluğunun fazla olduğu bir alanda yenileme konusunda zorluklar oluşmaktadır.
- Örgütsel ve yasal engeller: Uzun süreli yenileme çalışmaları dikkate alındığında, süreyi azaltmak için hazırlık süresi uzun tutulmalıdır.

ALMANYA

Karar verme ve yenileme sürecindeki zorluk ve engeller [12];

- Teknik engeller: Mevcut teknik çözümler hakkında bilgi eksikliği ve tasarruf potansiyeli tam bilinmemektedir. Sonuçlarla ilgili belirsizlik, yenileme ve koşulların karmaşıklığı ve buna bağlı taraflara veya uzmanlara olan güvensizlik engeller arsındadır.
- Finansal engeller: Bina sahipleri yenileme önlemlerini finanse etmekte güçlüklerle karşılaşmaktadır. Almanya'da ev sahibi-kiracı ikilemi kritik bir engeldir. Ev sahibi yatırım masraflarının belli bir kısmını karşılayabilmektedir. Bunun sonucunda, elde edilecek kiraya göre denge kurulması gerekmektedir.
- Sosyal engeller: Enerji verimliliği ve tasarruf sağlama potansiyelinden yeterli seviyede haberdar olunmaması, çoğunluğun enerji verimli konutlara karşı şüpheci yaklaşmasını beraberinde getirmektedir.

İTALYA

Karar verme ve yenileme sürecindeki zorluk ve engeller [9,10,13];

- Teknik engeller: Yerel binalarda enerji verimliliği stratejileri için yatırım maliyetleri, genellikle yüksek performanslı binalar için önemli bir engel oluşturmaktadır.
- Finansal engeller: Yüksek ilk yatırım maliyeti, küçük tüketicilerin kararlarını çoğunlukla olumsuz etkilemektedir. Bunun dışında, verimliliği artırmak için bazı çözümlerin uzun geri ödeme süresi, özel kredi temininde güçlük vb. olumsuzluklar oluşturmaktadır.
- Sosyal engeller: Enerji verimliliği ve tasarruf sağlama fırsatlarındaki farkındalık eksikliği, nüfusun çoğunluğu arasında enerji verimli binalara karşı tedirginlik yaratmaktadır.
- Örgütsel ve yasal engeller: Tarihi binaların kendine ait özel yasal düzenlemeleri olduğundan ve estetik unsurlar göz önünde bulundurulduğundan her çözüm uygulanamamaktadır.

ROMANYA

Karar verme ve yenileme sürecindeki zorluk ve engeller;

- Teknik engeller: Kıyaslama prosedürlerinde profesyonellik konusundaki eksikler nedeniyle düşük maliyetli çözümlerin seçimi niteliği düşürmekte, düşük enerji verimliliğine yol açmaktadır [10]. Güncellenmiş teknolojik çözümlerin eksikliği nedeniyle Romanya'da örnek uygulama mevcut değildir. Yeni teknolojilerin kullanımı konusunda nitelikli işçilerin olmaması veya düşük eğitim seviyeleri bir başka engeldir [14].
- Finansal engeller: Finansal kuruluşlar Issue Green Mortgages uygulamalarına karşı çok kısıtlayıcı ve isteksiz davranmaktadır. Ön yatırımların yüksek olması, mevcut fonlara erişmede güçlükler, uzun geri ödeme süresi ve düşük gelir diğer ana etkenlerdir. Düşük enerji inşaat teknolojileri için düşük talep, daha yüksek fiyatlara yol açmaktadır. Bina tadilatını desteklemek için yetersiz fon desteği vardır [10].
- Sosyal engeller: İlgili paydaşlar mevcut araçların etkinliğinden endişe duymaktadır. Enerji performans belgelerine güven eksikliği ve kullanıcılarda, ekonomik faydalar konusunda bilinç eksikliği bulunmaktadır [13].

- Örgütsel ve yasal engeller: Enerji performans sözleşmesi için oluşturulan ve kolay uygulanan prosedür bulunmamaktadır [10]. Sürdürülebilir enerji teknolojileri ve çözümlerinin yaygınlaştırılması konusunda ortak bir ulusal strateji bulunmamaktadır [14].
- Çevresel/sağlık engelleri: Bu konuda net bir bilgiye rastlanmamıştır.

SONUÇLAR

Bu çalışma, Avrupa Birliğine üye 8 ülkede (İsveç, Norveç, Polonya, İspanya, Fransa, İtalya, Almanya ve Romanya), mevcut binalar için NZEB yenileme kararı alma ve yenileme sürecinde karşılaşılan zorluklar ve engeller hakkında genel bir bakış sunmaktadır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda bu ülkelerde NZEB yenilemelerinin gerçekleştirilmesiyle bağlantılı olarak pek çok benzer engel ve zorluklarla karşılaşılmıştır. Aynı zamanda ülkelere özgü farklılıklarda bulunmaktadır.

Tarihi değere sahip yapılarda düzenlemeler konusu her ülke için özel bir engeldir. Ev sahipleri ile kiracılar arasında yenileme sonucu oluşan maliyet bu sebeple artan kiralar bir başka ortak engel olarak ortaya çıkmaktadır. Mimarlar, mühendisler, müteahhitler, kiracılar, ev sahipleri ve vb. gibi çok sayıda paydaş içeren inşaat sektörü ve bunların finansal talepleri inovatif enerji etkin binalara yatırım konusunda yıldırıcı etki göstermektedir. Farkındalık ve bilgi düzeyi eksikliği de önemli bir engeldir Devletlerin yapacağı net, anlaşılır yasal düzenlemeler pazarın kontrolü ve bina sektörünün NZEB'e uyum sağlaması açısından önemlidir. NZEB konusunda farkındalık, uygulama konusunda bilgi düzeyinde eksikler ülkeler için etkili bir engel olarak görülmektedir. Bu konuda yapılan projeler, eğitimler farkındalığı arttıracak ve NZEB'lerin ileri vadede yaratacağı tasarrufun değerinin anlaşılması pazar oluşumunu destekleyici nitelikte olacaktır.

Ülkelerin farklı konulardaki (iklim, ekonomi, yasal düzenlemeler, sosya kültürel durum, vb.) yerel koşulları çeşitli engellerin oluşmasına neden olmaktadır. NZEB uyum için gerekli önlemlerin oluşturacağı yüksek maliyetler talep oluşumunu engellemektedir. Örneğin Norveç'te mevcut enerji fiyatlarının düşük olması NZEB'e yönelik yenilemelerin cazibesini daha da düşürmektedir. Buna karşın Akdeniz iklimine sahip İspanya'da yılın birkaç haftası dışında soğuk hava yaşanmamaktadır. Bu sebeple düşük gelire sahip kullanıcılar ısıtma soğutma sistemi olmadan yaşamayı tercih etmektedir. Fransa'nın diğer ülkelere göre önceden NZEB tanımlamalarını yapmış olması ve pozitif enerji tanımlamalarına geçmesi karşılaştığı engellerin detayları çözmeye yönelik olmasını sağlamıştır. Romanya'da yüksek işsizlik oranı, finansal zorluklar nedeniyle yeterli devlet desteği olmaması diğer engellerdir.

Ülkemiz farklı iklim kuşaklarına ve yerel koşullara sahiptir. Birçok ülkede karşılaşılan engellerle ülkemizde de karşılaşılması olasıdır. Karşılaşılacak engellerin daha kolay aşılabilmesi için öncelikle bilinç oluşturulmalı ve özellikle kamu tarafından örnek yaklaşık sıfır enerjili binalar inşa edilerek sağlanacak tasarruf, fayda ve ekstra maliyetin herkes tarafından bilinmesi sağlanmalıdır. Bu şekilde toplumda ve piyasada var olan önyargıların giderilmesi hedeflenmelidir. Finansman konusunda devlet destek mekanizmaları geliştirilerek bu tarz binalar özendirilmelidir. Gelişme aşamasında olan mevcut ve yeni düzenlemelerde karşılaşılabilecek olası engeller göz önünde bulundurulmalı, farklı iklim koşullarının, ekonomik durumun, sosyal yapının dikkate alınması önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

1. http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/dersnotu/EnerjiProfili.pdf
2. Directive 2010/31/EU, Directive of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings (recast), 2010.
3. Directive 2002/91/EC, Directive of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the Energy Performance of Buildings, 2002.
4. T.C. Resmi Gazete, Bina enerji performansı hesaplama yöntemi, bina enerji performansı – isıtma ve soğutma için net enerji ihtiyacının hesaplanması, Aralık, 2010
5. N.G. Sağlam, A.Z. Yılmaz, Avrupa Birliği direktifi doğrultusunda binalarda yaklaşık sıfır enerji düzeyinin akdeniz ülkesi olan Türkiye'de konut binaları için belirlenmesine yönelik uygulama örneği, Binalarda Enerji Performansı Sempozyumu,2015
6. M. Isaac, L. P. Tronca ve M. Gajsak, D 8.1 Report: Market analysis of trends in the construction of residential highly energy performing buildings, Achieving near Zero and Positive Energy Settlements in Europe using Advanced Energy Technology, (2016)
7. A. Karlsson, Common barriers and challenges in current nZEB practice in Europe D.1.1. Report, Nearly Zero energy Neighborhoods, (2013)
8. C. Lindkvista, A. Karlsson, K. Sørnes, A. Wyckmans, Barriers and challenges in nZEB Projects in Sweden and Norway, Renewable Energy Research Conference, RERC 2014, pp:199-206
9. S. Mellegard, A.L. Godbolt, A.L. Hauge, M. Klinski, ZEBRA 2020- D5.2: Market actors' NZEB uptake – Drivers and barriers in European contries, July 2016
10. L. Aelenei, H. Petran, J. Tarrés, G. Riva, A. Ferreira, S. Camelo, V. Corrado,M. Šijanec-Zavrl, G. Stegnar, H. Gonçalves, Z. Magyarg, J. Salom, E. Polychronih,K. Sfakianaki, New challenge of the public buildings: nZEB findings from IEE RePublic_ZEB Project, 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015
11. A. Shady, P. Eleftheriou, F. Xeni, R. Morlot, C. Menezo, V. Kostopoulos, M. Betsi, L. Kalaitzoglu, L. Pagliano, M. Cellura, M. Almeida, M. Ferreira, T. Baracu, V. Badescu, R. Crutescu, J.M. Hidalgo-Betanzos, Overview and future challenges of nearly zero energy buildings (nZEB) design in Southern Europe. Energy and Buildings 155 (2017) 439–458.
12. H. Eva, M. Kaisa, K. Helka, Report on specific features of public and social acceptance and perception of nearly zero energy buildings and renewable heating and cooling in Europe with a specific focus on the target countries D2.6. of WP2 of the Entranze Project, Ekim 2014
13. Brunel University, MTraining Market Barriers Report, MENS, October 2015,
14. D. Staniaszek, B. Atanasiu, S. Danciu, M. Faber, C. Marian, I. Nolte, O. Rapf, a StRategy foR the eneRgy Renovation of Romania'S Building Stock, BPIE Renovating Romania, April 2014

3.Ulusal
Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi

10-11 Mayıs 2018
İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul

LEED YEŞİL BİNA SERTİFİKA SİSTEMİ UYGULAMALARININ ENERJİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ: AVRUPA VE TÜRKİYE

İnşaat Y. Müh. Eren Baştanoğlu[a]
Öğr. Gör. Dr. Şule Filiz Akşit[b]
İTÜ Mimarlık Fakültesi
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

ÖZET

Yeşil bina projelerinin uygulanmaya başlamasıyla birlikte, bu binaların çevre dostu özelliklerinin belgelendirilmesi, teşvik edilmesi ve yaygınlaşmasını sağlayan gönüllü yeşil bina sertifika sistemleri ortaya çıkmıştır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılan LEED yeşil bina sertifikası, değerlendirme sistemini oluşturan kategorilerdeki farklı kriterlerin uygulanmasıyla alınmaktadır. Enerji ve Atmosfer kategorisi; bina enerji performansı, yenilenebilir enerji üretimi, test ve devreye alma, yeşil enerji satın alma, enerji tüketimini izleme ve ozon tabakasını korumaya yönelik krediler içermektedir. Bu çalışmada Avrupa ve Türkiye'de LEED Gold seviyesinde yeşil bina sertifikası almış 158 yeni bina incelenmiştir. LEED yeşil bina sertifikasının Enerji ve Atmosfer kategorisinde kriterlerin uygulanma oranları belirlenmiştir ve bu oranlar üzerinden Avrupa ve Türkiye'deki sertifikalı binalar karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda bu kredilerin benzer orana sahip olduğu bazılarında ise farklar olduğu belirlenmiştir. Aynı sertifika seviyesine sahip olmalarına rağmen Avrupa'da bulunan yeşil binaların enerji performansı ortalamasının Türkiye'dekilerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yaygın kanının aksine hem Avrupa hem de Türkiye'de LEED yeşil bina sertifikasına sahip bir binada güneş paneli gibi yenilenebilir enerji sistemi bulunma olasılığının oldukça düşük olduğu görülmektedir. Beyan usulüyle kabul edilen Ölçme ve Doğrulama kredisinin ise Türkiye'de Avrupa'dan daha yüksek oranda uygulandığı belirlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Enerji verimliliği, LEED yeşil bina sertifikası

ABSTRACT

Voluntary green building certification systems have been established to assess and document the environmental friendly features of green buildings and help them to become widespread. The most widely used system is the LEED green building certification which assesses the buildings in different categories and credits. The Energy and Atmosphere category of LEED contains criteria about building energy performance, renewable energy production, commissioning, purchase of green power, energy monitoring and ozone layer protection. In this study, 158 LEED Gold certified new buildings in Europe and Turkey are examined. The average ratios of implementation of the credits in Energy and Atmosphere category are calculated and certified buildings in Europe and Turkey are compared. It is seen that some of credits are implemented in similar frequency where some of them have huge differences. It seen that even though they have the same certification level, green buildings in Europe have higher building energy performance on average. In contrast to common perception, green buildings rarely implement renewable energy systems such as solar panels both in Europe and Turkey. Measurement and Verification credit which can be achieved by a statement is achieved much more in Turkey than Europe.

Key words: Energy efficiency, LEED green building certification

[a] eren.bastanoglu@gmail.com
[b] aksitf@itu.edu.tr.

1.GİRİŞ

Sürdürülebilir kalkınmanın inşaat sektörüne yansıması, sosyal ve çevresel sorumluluk anlayışıyla tasarlanan ve yaşam döngüsü boyunca çevreye ve insan sağlığına duyarlı yeşil bina kavramını gündeme getirmiştir. Yeşil bina projelerinin uygulanmaya başlamasıyla birlikte, bu binaların çevre dostu özelliklerinin belgelendirilmesi, teşvik edilmesi ve yaygınlaşmasını sağlayan gönüllü yeşil bina sertifika sistemleri ortaya çıkmıştır. Yeşil bina sertifikaları, gelişmiş ülkeler tarafından desteklenmektedir ve gayrimenkul sektörünün sürdürülebilir bir dönüşüm geçirmesi için etkili bir araç olarak görülmektedir. Gelişmiş ülkeler ile birlikte Türkiye'de de bu konuda bilinçlenme başlamış ve birçok inşaat firması dünyada yaygın olarak kullanılan yeşil bina sertifika sistemlerini kendi projelerinde uygulamaya başlamıştır.

Türkiye'de özellikle LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) yeşil bina sertifika sistemi oldukça yaygınlaşmıştır. LEED yeşil bina sertifika sisteminin öne çıkmasının sebepleri arasında Dünya'daki en yaygın sistem olması, çok uluslu şirketler tarafından tercih edilmesi, diğer sistemlere göre sertifika alma sürecinin daha kolay olması ve marka değerinin yüksek olması söylenebilir. LEED yeşil bina sertifikasının zamanla daha çok yaygınlaşacağı öngörülmektedir. Bu nedenle LEED yeşil bina sertifika sistemi gayrimenkul sektörü açısından önemli bir konumda bulunmaktadır.

Türkiye'de LEED yeşil bina sertifikasına sahip binaların yaygınlaşmış olması sektör açısından olumlu olarak algılanmakla birlikte birçok problem içermektedir. Bu problemlerin tespit edilmesi ve çözülmesi Türkiye'de yeşil binaların gelişmesi için faydalı olacaktır. Bu problemlerin başında bir yeşil bina sertifikalı binanın enerji performansı konusunda sektörde olan belirsizliktir. Bir binanın hangi kriterlere göre "yeşil bina" olarak nitelendirilmesi gerektiği, yeşil bina sertifikasına sahip bir binanın ne kadar enerji verimli olduğu ve Türkiye'de sertifika şartlarının dürüstlükle sağlanıp sağlanmadığı konusunda tartışmalar bulunmaktadır. Bu tartışmaların sonuçlanmaması sektörde güvensizliğe neden olmaktadır. Yeşil bina sertifikalarının bir pazarlama aracı olarak kullanıldığı ve binanın değerini arttırdığı düşünüldüğünde, bu belirsizlikler yanlış bilgilendirme ve haksız kazanç sağlandığı ile ilgili şüpheler doğurmaktadır.

Bu çalışmanın amacı; yeşil bina konusunda gelişmiş olan Avrupa ülkeleri ve henüz gelişmekte olan Türkiye'deki uygulamaları karşılaştırarak yeşil bina sertifikasına sahip binaların enerji verimliliği ile ilgili uygulamalarını belirlemek, sektörün yeşil bina sertifikalı binalardan beklemesi gereken enerji performansını ortaya koymak, Türkiye'deki yeşil bina sertifikasına sahip binaların performansı ve geçerliliği konusundaki tartışmalara bir yorum katmak ve LEED yeşil bina sertifikasının geçerliliği konusundaki tartışmalara katkı sağlamaktır.

2. LEED YEŞİL BİNA SERTİFİKA SİSTEMİ

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), USGBC (Amerikan Yeşil Binalar Derneği) tarafından 1998 yılında kurulmuştur ve uluslararası olarak en çok kabul gören yeşil bina sertifika sistemidir. LEED, sektör temsilcileri ve akademisyenlerden oluşan bir grup tarafından oluşturulmuş gönüllü bir programdır. Şu anda Dünya'da 50 bine yakın LEED sertifikalı bina bulunmaktadır. USGBC, sertifika sisteminde bulunan her konu hakkında kendi bünyesinde ve sektör gönüllülerinden oluşan ekipler barındırır ve bu ekipler sürekli olarak sertifikanın geliştirilmesi üzerine çalışmaktadır. 2016 yılı sonunda yeni versiyon 4 yayımlanmıştır. Her yeni

versiyonda çevresel gerekliliklerin seviyesi arttırılarak yönetmeliklerin ve sektör pratiğinin üzerine çıkmak hedeflenmiştir. Bu çalışma yapılırken yeterli sayıda yeni versiyon 4 ile değerlendirilmiş bina bulunmadığı için versiyon 3 sertifikasına sahip binalar ele alınmıştır [**2**].

LEED yeşil bina sertifika sistemi, bir binanın çevresel etkisine göre farklı kategorilerden oluşmaktadır. Her kategoride, projelerin sağlamak zorunda olduğu ön koşullar ve puan alınan krediler mevcuttur. İlgili sertifika tipinin gerektirdiği kategorilerden alınan toplam puan, alınacak sertifika seviyesini belirlemektedir. Kategoriler aşağıdaki gibidir [**2**]:

- **Sürdürülebilir Arsa (26 puan)**: Projelerin, mevcut durumda yapılaşmış, altyapısı, kaynakları ve geçitleri hali hazırda mevcut olan yerlere yakın konumlarda inşa edilmelerini teşvik etmektedir. Tercih edilen konumun çeşitli toplu ulaşım sistemlerine yakın olmasını amaçlamaktadır. Mevcut durumda yapılaşmamış arazilerdeki yapılaşmanın önüne geçmeyi amaçlar, bir binanın eko-sistemler ve su yolları üzerindeki olumsuz etkisini minimize eder, bölgeye uygun peyzajı teşvik eder ve akıllı ulaşım çözümlerini ödüllendirir, yağmur suyu kaçışını kontrol eder ve erozyonu azaltır, ışık kirliliğini, ısı adası etkisini ve inşaattan kaynaklı kirlilikleri azaltmayı amaçlamaktadır.

- **Su Verimliliği (10 puan):** Bu kategorinin hedefi, yapının içinde ve dışında suyun daha akıllıca kullanılmasıdır. Su verimliliği; vitrifiye seçimleri, su tedbiri alınmış peyzaj, gri su kullanımı gibi uygulamalarla sağlanmaktadır.

- **Enerji ve Atmosfer (35 puan):** Bu kategori; işletmeye alma, enerji kullanımı kontrolü, verimli tasarım ve inşaat, verimli cihazlar, sistemler ve aydınlatmalar, yenilenebilen ve temiz kaynaklı enerjiler ve diğer yenilikçi stratejiler gibi geniş çeşitlilikte enerji stratejilerini desteklemektedir.

- **Malzeme ve Kaynaklar (14 puan):** Bu kredi kategorisi, sürdürülebilir ürün ve malzemelerin seçilmesini teşvik etmektedir. Atıkların azaltılmasını, yeniden kullanımlarını, geri dönüşümlerini destekler ve mekan için hava kalitesinin iyileştirilmesini amaçlamaktadır.

- **İç Ortam Kalitesi (15 puan):** Kredi, iç mekan hava kalitesini iyileştirmenin yanında, doğal gün ışığı ve manzaranın maksimum oranda erişilebilir olması, ısıl kontrol imkanlarını ve akustiği geliştirmeyi hedefler. Bu sayede bina kullanıcılarının daha verimli çalışması ve sağlık sorunlarının önlenmesi amaçlanmaktadır.

- **İnovasyon ve Yerel Öncelik (10.puan):** Sürdürülebilir tasarım stratejileri ve ölçütleri her geçen gün evrimleşmekte ve gelişmektedir. Piyasaya yeni teknolojiler giriş yapmaktadır ve bilimsel araştırmalar tasarım stratejilerini etkilemektedir. Bu kategorinin amacı yenilikçi sürdürülebilir özelliklerin ve uygulamaların binalarda kullanımının ödüllendirilmesidir.

LEED, projeyi 110 puan üzerinden değerlendirmektedir. Her kredinin belirli bir puanı bulunmaktadır. Binanın kredi puanını alabilmesi için LEED referans kitabında ayrıntılı olarak açıklanan kredi şartlarını sağlaması gerekmektedir. Alınan puan sayısına göre sertifika seviyesi belirlenmektedir. Dört farklı sertifika seviyesi vardır:

- LEED Certified (Sertifikalı): 40–49 puan

- LEED Silver (Gümüş): 50–59 puan
- LEED Gold (Altın): 60–79 puan
- LEED Platinum (Platin): 80 puan ve üzeri

Bu çalışmada LEED Enerji ve Atmosfer kategorisine odaklanılmıştır. Enerji ve atmosfer kategorisi; enerji verimliliği, yenilenebilir enerji üretimi, enerji tüketimini takip etme ve ozon tabakasını korumaya yönelik krediler içermektedir. LEED sertifikasında en çok etkiye sahip kategoridir. Toplam 35 puan içermektedir. LEED referans kitabı [**2**] kaynak olarak kullanılarak aşağıda enerji ve atmosfer kategorisine ilişkin önkoşullar, krediler ve bunlara ait açıklamalar yer almaktadır:

- **Önkoşul 1: Temel Test ve Devreye Alma ve Kredi 3: Gelişmiş Test ve Devreye Alma – 2 puan**

Test ve devreye almanın amacı enerji sistemlerinin tasarıma ve işverenin isteklerine uygun bir şekilde uygulandığını, kalibre edildiğini ve çalıştığını kontrol etmektir. Test ve devreye alma süreci; uygulama hatalarının önlenmesini, sistemlerin verimli çalışmasını, işletme ve bakım maliyetlerinin düşmesini ve konforun artmasını sağlar. Test ve devreye alma inşaat bitiminden sonra tamamlanmaktadır.

Temel test ve devreye alma süreci LEED sertifikasında bir önkoşuldur, gelişmiş test ve devreye alma ise 2 puan değerindedir. Gelişmiş test ve devreye alma kriterinin sağlanabilmesi için projede yer almayan bağımsız bir danışmanın mekanik tasarım ve uygulamasını işverenin isteklerine göre kontrol etmesi gerekmektedir. Uygulama öncesi şartnameler ve tasarım kontrol edileceği için projenin erken safhalarında danışmanın belirlenmesi gerekir. Bu kişi sistem el kitabı hazırlamalıdır ve bina yönetimine eğitim sağlamalıdır. Bina kullanıma açıldıktan bir süre sonra mekanik sistemleri tekrar kontrol ve gerekirse kalibre ederek sistemlerin düzgün çalıştığını onaylamalıdır.

- **Önkoşul 2: Minimum Enerji Performansı ve Kredi 1: Optimum Enerji Performansı – 19 puan**

Bu önkoşul ve kredinin amacı, yapının enerji verimliliği performansını arttırarak çevresel ve ekonomik yükü azaltmaktır. Minimum enerji verimliliğinin sağlanması önkoşuldur ve LEED sertifikası alınması için zorunludur. Önkoşul değerinin üzerinde verimlilik sağlandıkça kademeli olarak alınan puan artmaktadır. Bu kredi, 19 puan ile ağırlığı en fazla olan kredidir.

LEED yeni bina sertifika sisteminde binanın gerçek enerji tüketimi dikkate alınmamaktadır çünkü sertifika inşaat bitiminde verilmektedir. Binanın enerji verimliliğini belirlemek amacıyla tasarım aşamasında bina enerji modellemesi yapılmaktadır. Enerji modellemesi bir binanın enerji tüketimini ısısal hesaplara dayalı dinamik bilgisayar simülasyonu yoluyla belirleyen bir yöntemdir. Bina inşa edilmeden enerji verimliliğinin ölçülmesini ve enerji verimliliğini arttıracak stratejilerin araştırılmasını sağlar. Enerji modeli binanın enerji tüketimini etkileyecek bütün bilgileri (mimari tasarım, kullanım özellikleri, insan yoğunluğu, bina kabuğu yalıtım değerleri, malzeme seçimi, ısıtma, soğutma ve havalandırma sistem tasarımı, aydınlatma yükleri, yenilenebilir enerji kullanımı vb.) hesaplara dahil eder. Bina enerji modellemesinde EnergyPlus, Equest, Designbuilder ve Trace yaygın olarak kullanılan programlardır.

Tüm yeşil bina sertifika sistemlerinde olduğu gibi burada da iki tane model oluşturulur: Gerçek bina ve referans bina. Enerji verimliliği bu iki modelin kıyaslamasıyla belirlenir. Gerçek bina inşa edilecek gerçek bina özelliklerini içerir. Referans bina ise yerel ya da uluslararası yapım standartlarını baz alır. LEED, referans bina modellemesinde ASHRAE (Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği)'nin oluşturduğu ASHRAE 90.1–2007 Appendix G standardını kullanır.

- **Önkoşul 3: Temel Soğutucu Yönetimi ve Kredi 4: Gelişmiş Soğutucu Yönetimi – 2 puan**

Bu önkoşul ve kredinin amacı ozon tabakasına zararlı kimyasal içeriği bulunan soğutkan gazların bina iklimlendirme sistemlerinde kullanılmasını azaltmaktır. Kloroflorokarbon (CFC) bazlı soğutkan gazların kullanımı önkoşul olarak yasaklanmıştır. Önkoşul sağlandıktan sonra puan alınması için soğutma sisteminin içerdiği soğutkan gazın tipi ve miktarına göre bir hesaplama yapılarak ozon tabakasına zarar potansiyeli belirlenir. Bu değer LEED kriterine uygun olmalıdır. Soğutma sistemi üreticileri bu şartlara uygun ekipmanlar üretmektedir.

- **Kredi 2: Tesis–içi Yenilenebilir Enerji – 7 puan**

Bu kredinin amacı proje kapsamında yenilenebilir enerji üreterek çevresel ve ekonomik yükü azaltmaktır. Binanın bir yıl boyunca tükettiği enerji miktarının en az %1'i yenilenebilir bir kaynaktan sağlanmış olmalıdır. Oranı arttıkça alınan puan 1'den 7'ye kadar çıkmaktadır. Bu amaçla, binalarda ne çok güneş enerjisi ile elektrik ya da sıcak su elde eden sistemler kullanılmaktadır.

- **Kredi 5: Ölçme ve Doğrulama – 3 puan**

Bu kredinin amacı, binanın tükettiği enerji miktarını düzenli olarak izleyerek tasarlanan enerji verimliliğinin bina yaşamı boyunca devam etmesini sağlamaktır. Öncelikle binanın özelliklerine uygun bir ölçme ve doğrulama planı hazırlanmaktadır. Bu plan içerisinde bina enerji tüketiminin hangi noktalarda ne kadar sıklıkla ölçüleceği belirtilmelidir. Yüksek enerji harcayan alt sistemlerin önceliklerine göre enerji tüketimleri ölçülmelidir. Enerji ölçümleri izlenerek bir verimsizlik durumu tespit edilirse müdahale edilmelidir. Ayrıca kiracı alanlarının tükettiği elektrik, ısıtma, soğutma ve sıcak su ayrı olarak ölçülmeli ve her kiracıya ayrı olarak faturalandırılmalıdır.

- **Kredi 6: Yeşil Enerji – 2 puan**

Bu kredinin amacı, binanın kullandığı enerjiden dolayı oluşan çevresel yükü azaltmaktır. Rüzgar santralleri gibi yenilenebilir kaynaklardan yeşil enerji sağlayan bir üretici firmadan enerji satın alınmalıdır. Satın alınan enerjinin yeşil olduğunu kanıtlayan Green–E sertifikası bulunmalıdır.

3. LEED YEŞİL BİNA SERTİFİKA SİSTEMİ UYGULAMALARININ ENERJİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ: AVRUPA VE TÜRKİYE

Özgün bir çalışma [**1**] olan bu bölümde; yeşil binalar konusunda gelişmiş olan Avrupa ülkeleri ve henüz gelişmekte olan Türkiye'deki uygulamaları karşılaştırarak yeşil bina sertifikasının enerji

ile ilgili uygulamalarını belirlemek, sektörün yeşil bina sertifikalı binalardan beklemesi gereken enerji performansını ortaya koymak, Türkiye'deki yeşil bina sertifikasına sahip binaların performansı ve geçerliliği konusundaki tartışmalara bir yorum katmak amaçlanmıştır.

Sağlıklı bir karşılaştırma yapılabilmesi için Avrupa ülkelerinde ve Türkiye'de 2017 yılına kadar LEED Gold (Altın) seviyesinde LEED NC (New Construction) sertifikası almış bütün yeni binalar ele alınmıştır. İncelenen 158 binanın 52'si Türkiye'de, 106'sı Avrupa'da bulunmaktadır. Ele alınan binalara ilişkin bilgiler Amerikan Yeşil Binalar Derneği'nin veri tabanından alınarak değerlendirilmiştir [**3**]. Binaların hangi LEED kredilerini uygulayarak LEED Gold sertifikası aldığı belirlenerek Avrupa'da ve Türkiye'de, Enerji ve Atmosfer kategorisinde, her kredinin uygulanma yüzdesi hesaplanmıştır. Bu yüzdeler üzerinden Avrupa'daki ve Türkiye'deki LEED Gold sertifikalı yeni binalardan hangi özelliklerin beklenmesi gerektiği açıklanmış, Avrupa ve Türkiye arasındaki LEED kredilerini uygulama oranlarındaki farklılıklar açıklanmıştır.

3.1. Avrupa'da LEED Yeşil Bina Sertifikası Alan Binaların Enerji Açısından İncelenmesi

LEED sertifika sistemi enerji ve atmosfer kategorisinde bulunan kredilerin Avrupa'da uygulama yüzdelerinin açıklamaları aşağıdadır [**1**]:

- Kredi 1: Optimum Enerji Performansı, 19 puan üzerinden değerlendirilmektedir. Avrupa'da 19 puan üzerinden ortalama 11,8 puan alınmıştır. Ortalama puanın 11,8 olması, ortalama enerji verimliliğinin referans binaya göre %34 olduğunu göstermektedir.

- Kredi 2: Tesis–içi Yenilenebilir Enerji, 7 puan üzerinden değerlendirilmektedir. Binanın yıllık enerji tüketiminin en az %1'i yenilenebilir enerji ile karşılandığında kredi sağlanmaktadır. Avrupa'da 7 puan üzerinden ortalama 0,6 puan alınmıştır ve neredeyse hiçbir binada tercih edilmemiştir. Bu oranın düşük olması ilk yatırım maliyetinin yüksekliğine bağlanabilir.

- Kredi 3: Gelişmiş Test ve Devreye Alma, Avrupa'da %57 oranında sağlanmıştır. Test ve devreye alma ile ilgili bu kredi LEED Gold sertifikalı yeni binaların yarısından fazlasında bulunmaktadır. Uygulama oranın yüksek olmamasının başlıca nedeni projeden bağımsız bir danışmanın dahil olması ile oluşan ek maliyet olarak düşünülmektedir.

- Kredi 4: Gelişmiş Soğutucu Yönetimi, Avrupa'da %79 oranında sağlanmıştır. Soğutma sistemleri ile ilgili bu kredi LEED Gold sertifikalı yeni binaların çoğunda sağlanmıştır. Bu durumun nedeni yeni soğutma gruplarında bu şartın kendiliğinden sağlanıyor olmasıdır.

- Kredi 5: Ölçme ve Doğrulama, Avrupa'da %66 oranında sağlanmıştır. Binanın tükettiği enerjinin, bina kullanımı esnasında detaylı ve düzenli olarak takip edileceği ve verimsizlik tespit edilirse önlem alınacağı ile ilgili bir beyanda bulunulan bu kredi LEED Gold sertifikalı binaların çoğunda uygulanmıştır.

- Kredi 6: Yeşil Enerji, Avrupa'da %29 oranında sağlanmıştır. Binanın yeşil enerji satın alması ile ilgili bu kredi Avrupa'daki LEED Gold sertifikalı yeni binalarda az uygulanmıştır. Yeşil enerji satın alınması ile ortaya çıkan ek maliyet ve bina geliştiricisi ile kullanıcısının farklı olmasından dolayı yeşil enerji satın alınamaması gibi nedenler az uygulanmasına sebep

olmaktadır. Bu nedenle kredi şartlarının sağlanmasının zor olduğu ve tercih edilmediği söylenebilir.

3.2. Türkiye'de LEED Yeşil Bina Sertifikası Alan Binaların Enerji Açısından İncelenmesi

LEED sertifika sistemi enerji ve atmosfer kategorisinde bulunan kredilerin Türkiye'de uygulama yüzdelerinin açıklamaları aşağıdadır [**1**]:

- Kredi 1: Optimum Enerji Performansı, 19 puan üzerinden değerlendirilmektedir. Türkiye'de 19 puan üzerinden ortalama 8 puan alınmıştır. Ortalama puanın 8,0 olması, ortalama enerji verimliliğinin referans binaya göre %26 olduğunu göstermektedir.

- Kredi 2: Tesis–içi Yenilenebilir Enerji, 7 puan üzerinden değerlendirilmektedir. Türkiye'de 7 puan üzerinden ortalama 0,9 puan alınmıştır ve çok az binada tercih edilmiştir. Bu oranın düşük olması yenilenebilir enerji sistemlerinin yüksek ilk yatırım maliyetine bağlanabilir.

- Kredi 3: Gelişmiş Test ve Devreye Alma, Türkiye'de %44 oranında sağlanmıştır. Test ve devreye alma ile ilgili bu kredi LEED Gold sertifikalı yeni binaların yaklaşık yarısında bulunmaktadır. Ayrı bir danışman ile çalışılması gereken kredinin maliyeti nedeniyle çok uygulanmadığı düşünülebilir.

- Kredi 4: Gelişmiş Soğutucu Yönetimi, Türkiye'de %90 oranında sağlanmıştır. Soğutma sistemleri ile ilgili bu kredi LEED Gold sertifikalı yeni binaların çoğunda sağlanmıştır. Bu durumun nedeni yeni soğutma gruplarında bu şartın kendiliğinden sağlanıyor olmasıdır.

- Kredi 5: Ölçme ve Doğrulama, Türkiye'de %88 oranında sağlanmıştır. Binanın tükettiği enerjinin takibi ile ilgili bu kredi LEED Gold sertifikalı yeni binaların çoğunda sağlanmıştır. Türkiye'de bu kredinin sağlanmasının kolay uygulandığı sonucuna varılabilir. Bu kredide binanın tükettiği enerjinin, bina kullanımı esnasında detaylı ve düzenli olarak takip edileceği ve verimsizlik tespit edilirse önlem alınacağı ile ilgili bir beyanda bulunulması gerekmektedir. Beyan üzerinden sağlanan bir kredi olduğu için Türkiye'de uygulama oranının çok yüksek olduğu düşünülebilir.

- Kredi 6: Yeşil Enerji, Türkiye'de %17 oranında sağlanmıştır. Binanın yeşil enerji satın alması ile ilgili bu kredi Türkiye'deki LEED Gold sertifikalı yeni binalarda az uygulanmıştır. Yeşil enerji satın alınması ile ortaya çıkan ek maliyet ve bina geliştiricisi ile kullanıcısının farklı olmasından dolayı yeşil enerji satın alınamaması az uygulanmasına sebep olmaktadır denebilir.

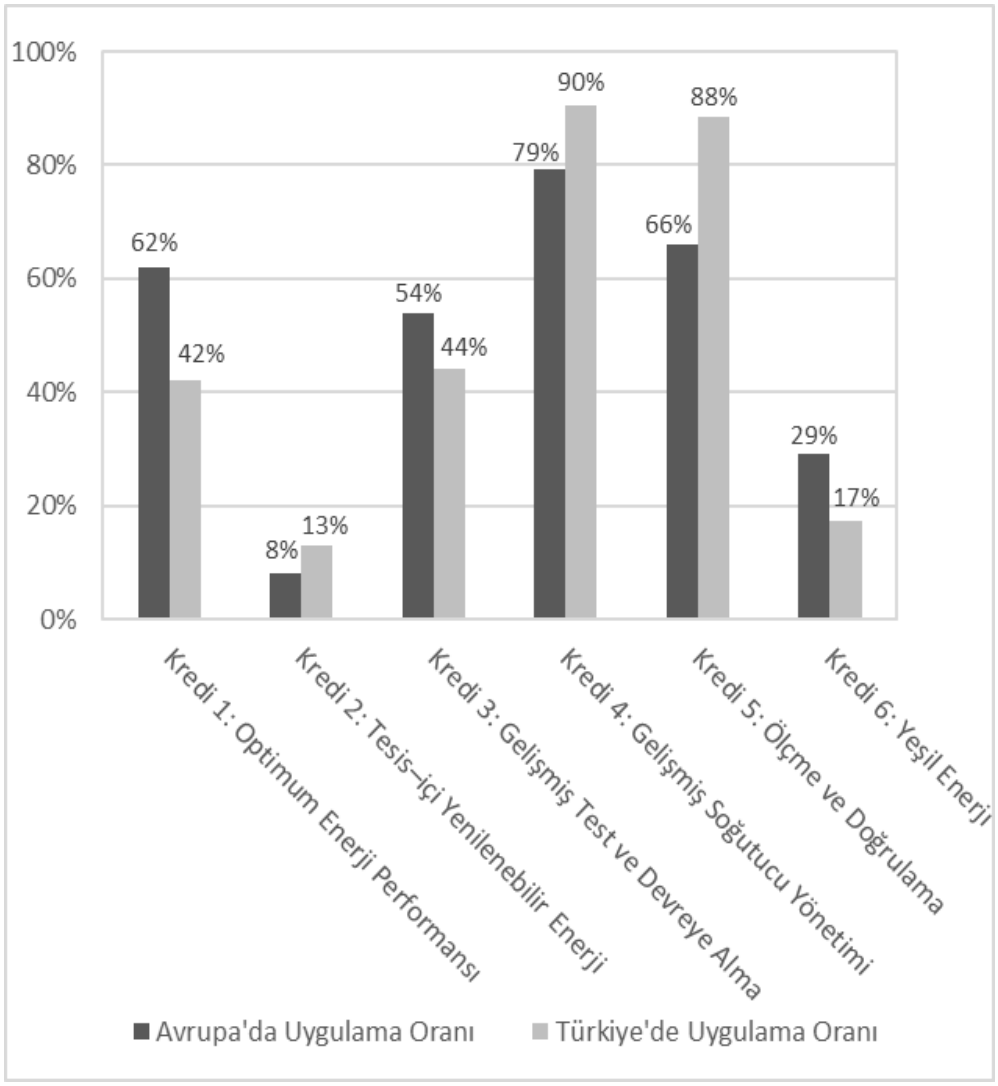
3.3. Avrupa ve Türkiye'de LEED Yeşil Bina Sertifikası Alan Binaların Enerji Açısından Karşılaştırılması

Bu bölümde, Avrupa ve Türkiye'de ele alınan tüm binalar, LEED Enerji ve Atmosfer kategorisinde bulunan kredilerin uygulanma oranları karşılaştırılarak incelenmiştir.

Enerji ve atmosfer kategorisi toplam 35 puan içermektedir. İncelenen binalarda bu kategori için, Avrupa'da ortalama 17,3 Türkiye'de ise ortalama 14,6 puan alınmıştır. Bu kategoride Türkiye ve

Avrupa arasında belirgin bir fark bulunmamakla birlikte Avrupa'daki LEED Gold sertifikalı yeni binaların enerji verimliliği ve ilgili konular açısından daha performanslı olduğunu söylenebilir.

Kategoriyi oluşturan kredilerin Avrupa ve Türkiye'de uygulama oranları Şekil 1'de yer almaktadır.



Şekil 1: Enerji ve Atmosfer kategorisindeki kredilerin Avrupa ve Türkiye'de uygulama oranları

Şekil 1'de gösterilen uygulama oranları incelendiğinde;

- Kredi 1: Optimum Enerji Performansı kredisi 19 puan değerindedir ve LEED sertifika sistemindeki en önemli kredidir. Avrupa ve Türkiye'de LEED yeşil bina sertifikası alan binaların en büyük farkı enerji performansı kriterinde gözükmektedir. Avrupa'da bulunan yeşil binalar 19 puan üzerinden ortalama 11,8 puan almıştır. Türkiye'de bulunan yeşil binalar ise ortalama 8 puan almıştır. Bu verilere dayanarak Avrupa'daki LEED Gold sertifikalı binaların Türkiye'dekilere oranla daha enerji verimli oldukları söylenebilir. Bu, çalışmanın en

önemli sonuçlarından biri olarak görülmektedir. Türkiye'de enerji verimliliğini arttırmak yerine farklı kredilerden puan alınarak LEED sertifikası alınması tercih edilmektedir. Bu durumun sebepleri arasında enerji verimliliği ile ilgili iyileştirmelerin oluşturduğu yüksek ilk yatırım maliyeti, enerji verimliliği ile ilgili yönetmeliklerin yetersizliği ve proje ekiplerinin enerji verimliliği konusundaki bilgi eksikliği olarak düşünülebilir.

- Kredi 2: Tesis-içi Yenilenebilir Enerji, hem Avrupa'da hem de Türkiye'de çok düşük bir oranda uygulanmıştır. Bu kredinin alınması için binada güneş paneli gibi bir yenilenebilir enerji sistemi kullanılmalıdır. Yeşil bina deyince ilk akla gelen uygulamalardan biri olan yenilenebilir enerji üretiminin aslında hem Avrupa'da hem de Türkiye'de çok az uygulandığı görülmektedir. Bu durum LEED yeşil bina sertifika sisteminin bir eksikliği algılanabilir ya da yaygın olarak kabul gören yeşil bina algısının yanlış olduğunu gösterebilir. Bu sistemlerin ilk maliyetinin yüksek olmasından dolayı tercih edilmediği söylenebilir.

- Kredi 3: Gelişmiş Test ve Devreye Alma kredisi hem Avrupa'da hem Türkiye'deki binaların yaklaşık yarısında uygulanmıştır. Bir danışman ile çalışılması gerektiği için bu kredinin maliyetinden dolayı çok tercih edilmediği söylenebilir. Avrupa ve Türkiye'deki benzerlik kredinin uygulama zorluğunun benzer olduğunu göstermektedir.

- Kredi 4: Gelişmiş Soğutucu Yönetimi, Avrupa ve Türkiye'de yüksek oranlarda sağlanmıştır. Bu kredinin şartları yeni soğutma gruplarının çoğunda kendiliğinden sağlandığı için efor sarf etmeden alınan bir kredidir. Bu kredinin kriterleri açısından Avrupa ve Türkiye'de uygulanan soğutma gruplarında önemli bir fark olmadığı görülmektedir.

- Kredi 5: Ölçme ve Doğrulama Türkiye'de Avrupa'dan daha yüksek oranda uygulanmıştır. Bina kullanımı esnasında farklı sistemler tarafından tüketilen enerjinin takibi ile ilgili bu kriterin sağlanması için bir enerji yönetim planı hazırlanması gerekmektedir. LEED yeşil bina sertifika sistemi içerisinde yerinde bir denetim bulunmadığı için krediden puan kazanmak için sadece bir plan hazırlanması yeterli olmaktadır. Enerji verimliliği ve buna benzer yatırım gerektiren kredilerin aksine bu kredinin uygulama oranının Türkiye'de çok yüksek olmasının sebebi bazı binalarda uygulanmasa bile puan almak için bir plan hazırlandığı ~~olarak~~ düşünülebilir.

- Kredi 6: Yeşil Enerji kredisi ise Avrupa ve Türkiye'de düşük oranda uygulanmıştır. Türkiye'de uygulama oranı Avrupa'nın da altındadır. Bu kredinin alınması için binanın şebekeden satın aldığı enerjinin yenilenebilir yeşil enerji sertifikasına sahip olması gerekmektedir. Bu kredinin az uygulanmasının sebepleri arasında yenilenebilir yeşil enerji sertifikasına sahip enerji üreticilerinin yaygın olmaması, binanın yapım ve işletim sorumlularının farklı olması ve maliyet artışı olarak düşünülebilir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Avrupa ülkelerinde ve Türkiye'de bulunan LEED Gold sertifikalı yeni binalar enerji açısından incelenerek ve karşılaştırılarak yeşil binalarda bulunan özellikler belirlenmiş, Avrupa'da bulunan binalara göre Türkiye'dekilerin farklılıkları ortaya çıkartılmıştır. Çalışma sonucunda bazı kredilerin uygulama oranlarının Avrupa ve Türkiye'de benzer olduğu, bazılarında ise önemli farklar bulunduğu tespit edilmiştir.

Hem Avrupa'da hem de Türkiye'de çok düşük oranda uygulanan kredilerin başında yenilenebilir enerji sistemleri gelmektedir. Yaygın kanının aksine LEED yeşil bina sertifikasına sahip bir binada güneş paneli gibi yenilenebilir enerji sistemi bulunma olasılığı oldukça düşüktür. İlk yatırım maliyetinin yüksek olmasından dolayı bu uygulamalardan kaçınıldığı düşünülmektedir.

Türkiye'deki LEED Gold sertifikalı yeni binalar, özellikle binaların enerji performansı konusunda Avrupa'nın gerisinde kalmaktadır. Aynı sertifika seviyesine sahip olmalarına rağmen Avrupa'da bulunan yeşil binalar Türkiye'dekilere göre daha enerji verimlidir. Türkiye'nin enerji verimli bina tasarımı konusunda Avrupa'ya göre geride kaldığı söylenebilir.

Avrupa'ya göre Türkiye'de yüksek oranda alınan ölçme ve doğrulama kredisi beyan ile sağlanmaktadır. LEED yeşil bina sertifika sisteminde yerinde denetim bulunmamasından dolayı bu krediler uygulanmıyor olsa bile puan almak mümkündür. Bu durumun LEED yeşil bina sertifika sisteminin eksikliği olduğu söylenebilir ve bu kredilerin bu tarz tartışmalara yol açmayacak şekilde düzenlenmesi önerilmektedir.

Avrupa ve Türkiye'deki uygulama farklılıkları incelendiğinde Türkiye'de enerji verimliliği konusunda düzenleme ve yönetmeliklerin geliştirilmesi ve sektörün bu konuda bilinçlendirilmesi önerilmektedir. LEED yeşil bina sertifika sisteminin geliştirilmesine yönelik olarak beyan edilen uygulamaların denetlenmesi ve yenilenebilir enerji sistemlerine daha çok önem verilmesi söylenebilir.

KAYNAKLAR

1. Baştanoğlu, E., Haziran 2017. LEED Yeşil Bina Sertifika Sistemi Uygulamalarının Değerlendirilmesi: Avrupa Ve Türkiye, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul.

2. USGBC, 2017. LEED v3 2009 Building Design and Construction Reference Guide. Washington, ABD.

3. Url-1 < https://www.usgbc.org/projects>, alındığı tarih: 01.01.2017

3.Ulusal
Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi

10-11 Mayıs 2018
İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul

YEŞİL BİNA SERTİFİKA SİSTEMLERİNDE KULLANILAN DOĞAL AYDINLATMA KRİTERLERİ

Y. Mimar Seda Kaçel[a]
İTÜ Mimarlık Fakültesi, Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437
Prof. Dr. Rengin Ünver[b]
Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Beşiktaş, İstanbul, 34349
Prof. Dr. Alpin Köknel Yener[c]
İTÜ Mimarlık Fakültesi, Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

ÖZET

Kapalı mekanlardaki aydınlatma düzenlerinin sağladığı görsel konfor koşullarının tasarlanması ve mevcut durumun değerlendirilmesinde genel olarak yeşil bina sertifika sistemlerinden yararlanılmaktadır. Söz konusu sistemler, içerdikleri ölçütler ve gereklilikler bakımından ayrımlar göstermektedir. Bu çalışmada, uluslararası ve ulusal ölçekteki kimi sertifika sistemlerinin doğal aydınlatma konusunu ele alış biçimi, ölçütleri ve ölçütlere yönelik parametrelerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Belirtilen amaç doğrultusunda BREEAM, LEED, DGNB, HQE, TSE ve ÇEDBİK sertifika sistemlerinin iç mekan doğal aydınlatma konusuna yaklaşımları karşılaştırmalı olarak değerlendirmiştir.

Anahtar sözcükler: Görsel konfor, Yeşil bina sertifika sistemleri, Doğal aydınlatma.

ABSTRACT

The green building certification systems are used in order to design the visual comfort conditions provided by the indoor lighting systems and assess the existing situation. These systems differ depending on the criteria they contain and the requirements. In this study, the evaluation of daylighting in some of these national and international green building certification systems was assessed through the criteria, the contents of the criteria and the requirements. This comparative study has been done for the green certification systems BREEAM, LEED, DGNB, HQE, TSE and ÇEDBIK by evaluating their approach towards daylighting in indoor spaces.

Key words: Visual comfort; Green building certification systems; Daylighting.

[a] e-posta adresi: kacel@itu.edu.tr
[b] e-posta adresi: runver@yildiz.edu.tr
[c] e-posta adresi: yener@itu.edu.tr

1. GİRİŞ

Sürdürülebilirlik konusu pek çok disiplinde olduğu gibi mimarlık alanında da son yıllarda bir gündem maddesi haline gelmiştir. Küresel çapta çevre sorunlarının ve enerji tüketiminin yaklaşık olarak yarısının binalar tarafından gerçekleştiği düşünüldüğünde, sürdürülebilirliğin mimarlık alanındaki önemi daha da belirgin bir biçimde ortaya çıkmaktadır. Sürdürülebilir mimarlık bağlamında binaların değişik özelliklerine ilişkin performanslarının kurgulanabilmesi ve değerlendirilebilmesine yönelik olarak 1990'lı yıllardan bu yana genelde "yeşil bina" adı altında birçok "sertifika sistemi" kullanıma sunulmuştur. Bunlar, küresel ölçekte Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM), Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) ve Haute Qualité Environnementale (HQE) olarak örneklenebilir. Ülkemizde ise "TSE Güvenli Yeşil Bina Belgelendirmesi" ve "ÇEDBİK Konut Sertifika Kılavuzu" yayınlanmıştır. Yeşil bina sertifika sistemlerinde, bina özellikleri arasında görsel konfor koşullarının sağlanmasına ilişkin ölçütler de yer almaktadır. Yapıların görsel konfora yönelik performansları, genelde yapay ve doğal aydınlatma olarak iki ayrı bölümde ele alınmakta, ele alınan ölçütlere ilişkin değerler bağlamında ortaya konulmakta ve derecelendirilmektedir.

Bu çalışmada, uluslararası ve ulusal ölçekteki kimi sertifika sistemlerinin doğal aydınlatma konusunu ele alış biçimi, ölçütleri ve ölçütlere yönelik parametrelerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Belirtilen amaç doğrultusunda önce BREEAM, LEED, DGNB, HQE, TSE ve ÇEDBİK sertifika sistemlerinin iç mekan doğal aydınlatma konusuna yaklaşım ve ölçütleri verilmiş, ardından sistemlerin benzerlik ve ayrımları ortaya konulmuştur. Böylece, güncel kullanımda olan yeşil sertifika sistemleri bağlamında, sürdürülebilir mimari için doğal aydınlatma düzenlerinde rol oynayan ölçütler için bir veri tabanı oluşmasına katkı sağlanacaktır.

2. YEŞİL BİNA SERTİFİKA SİSTEMLERİNDE DOĞAL AYDINLATMA

Yeşil bina sertifika sistemlerinde doğal aydınlatma ile ilgili olarak yer alan bilgi ve ölçütler temelde görsel çevrenin bütüncül yaklaşım ile tasarlanmasına ve değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Aşağıdaki bölümlerde uluslararası dört, ulusal iki sistem doğal aydınlatma açısından irdelenmiştir.

2.1. BREEAM sistemi

Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM), İngiltere'de 1990 yılında İngiliz Araştırma Kurumu (British Research Establishment) tarafından geliştirilmiştir. BREEAM sistemi binaların yanı sıra yerleşim ölçeğinde de değerlendirme yapmayı olanaklı kılmaktadır. Çalışmada bina ölçeği ele alınmış ve BREEAM 2014 incelenmiştir. Sistemin temel özellikleri aşağıda verilmiş ve kısaca açıklanmıştır.

- BREEAM sistemi, binaların tasarım aşamasındaki (yeni bina; BREEAM International New Construction) ve yapım sonrasındaki (mevcut bina; BREEAM In-Use International) performansının belirlenmesi için kullanılabilmektedir.
- Bina tipleri "konut" ve "konut dışı" olarak iki bölümde toplanmıştır. Gerekli koşulların sağlanması durumunda alınacak kredi değerleri bina tiplerine göre değişim göstermektedir. Sistemde alınabilecek en yüksek kredi bina fonksiyonuna ve konumuna göre değişiklik göstermektedir. Alınacak kredilere göre "Seçkin (Outstanding)" olarak tanımlanan en yüksek

değerlendirme sınıfı için 85 ve üzeri kredi almak gerekmektedir. Doğal aydınlatma açısından alınabilecek kredi değeri ise 1 ile 4 arasındadır.

- Doğal aydınlatma konusu, yeni binalar (BREEAM International New Construction) ve mevcut binalar (BREEAM In-Use International) için "Sağlık ve Esenlik (Health and Wellbeing)" kategorisinde ele alınmıştır. Ayrıca, mevcut binalardaki enerji kategorisinde de günışığına yer verilmiştir.
- Yeni binalar için "HEA 01 Görsel Konfor" başlığı altındaki doğal aydınlatma kriterleri,
    - ortalama günışığı faktörü,
    - günışığının düzgünlüğü,
    - minimum günışığı aydınlık düzeyi,
    - dolaysız güneş ışığının yol açtığı kamaşma,
    - kullanıcı için dış ortam görüşü (dış görüş) olarak sıralanabilir.
- Mevcut binalar için doğal aydınlatma ölçütleri,
    - "HEA 01 Pencere" başlığı altında saydamlık oranı (pencere alanı/pencere duvarı alanı)
    - "HEA 02 Kamaşma Kontrolü" başlığı ile dolaysız güneş ışığının yol açtığı kamaşma,
    - "HEA 09 Aydınlatma Kontrolü" başlığı ile doğal ve yapay aydınlatma sistemlerinin otomatik ya da elle kontrol edilip edilmemesi,
    - "HEA 28 Dış Görüş" başlığı ile kullanıcı için dış ortam görüşü (dış görüş) olarak sıralanabilir.

BREEAM-Yeni Binalar-Sağlık ve Esenlik kategorisindeki "HEA 01 Görsel Konfor" başlığı altında doğal aydınlatma kriterleri belirtilmiştir. Bu kriterlerden ortalama günışığı faktörünün ve günışığı düzgünlük faktörünün ya da minimum günışığı aydınlık düzeylerinin sistemde belirtildiği şekilde sağlanması ile doğal aydınlatma değerlendirmesi yapılmaktadır. Alınacak krediler konut binaları ve konut dışı binalara göre değişiklik göstermektedir. Konut binalarında en fazla 4 kredi ve konut dışı binalarında en fazla 2 kredi verilmektedir. Doğal aydınlatmaya yönelik kamaşma kriterinde, konut dışı binalarda ilgili alanları için yerleşim veya bina ölçeğinde ele alınması gerektiği belirtilmiştir. Kamaşma kontrol stratejisinin, yapay aydınlatma enerjisi tüketiminin azaltılabilmesi için kapalı gök koşullarında ya da cephe üzerinde direkt güneş ışığı olmadığı durumlarda, günışığının mekana girişine izin verecek biçimde kurgulanması gerektiği belirtilmiştir. Dış görüş kriteri için ise kullanıcının tüm konumlarında ya da net döşeme alanının % 95'inde dış görüş sağlanmalıdır. Bu amaçla, çalışma alanının pencereden uzaklığına göre değişen saydamlık oran değerleri verilmiştir [**1**].

BREEAM-Mevcut Binalar-Sağlık ve Esenlik kategorisindeki "HEA 01 Pencere" başlığında yapı kabuğunun "saydamlık oranı" çatı ışıklıkları göz önüne alınarak değerlendirilmektedir. Saydamlık oranının % 1 ile % 10 arasında ve % 10'a eşit olması durumunda 1 kredi, saydamlık oranının % 10'dan büyük olması durumunda 2 kredi alınmaktadır. "HEA 02 Kamaşma Kontrolü" başlığı ile iç mekanlarda kamaşmaya bağlı sorunların azaltılması hedeflenmektedir. Mevcut olan gölgelendirme elemanlarının özelliklerine göre (farklı yönlerde bulunma durumu, manuel ya da otomatik olarak kontrol edilme özelliği, tüm pencerelerde bulunma durumu vb.) değişik krediler tanımlanmıştır. Aydınlatma ve kamaşmanın kullanıcılar için rahatsızlık yaratabileceği çalışma istasyonları, projeksiyon ekranlarının bulunduğu mekanlar ve spor salonu gibi mekanlarda, kamaşma kontrolünün sağlanmasının gerekli olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, perdelerin kamaşma kontrolü gerekliliklerini sağlamadığı da vurgulanmıştır.

"HEA 28 Dış Görüş" başlığı ile kullanıcıların dış ortamla olan ilişkisi ele alınmıştır. Tüm çalışma alanlarında ya da masalarda yeterli dış görüş olup olmamasına göre alınacak krediler değişmektedir. Uygun olan dış görüş uzaklıkları değerlendirme kriterleri olarak verilmiştir. Dış görüşün, oturan kişilerin göz hizasında (döşemeden yükseklik 1.2 m-1.3 m) pencere aracılığıyla sağlanması gerektiği belirtilmiştir. Pencere ile kullanıcı arasındaki uzaklığın en çok 7 metre olması gerektiği de vurgulanmıştır.

BREEAM'in Mevcut Binalar bölümünde "ofis yapıları" na yönelik ekteki (Annex A: Offices) "Enerji" kategorisinde, mekanda mevcut olan doğal aydınlığın arttırılması amacıyla pencerelerde jaluzi kullanımı ile ilgili rehberlik sağlanması gerektiği de belirtilmiştir [**2**].

2.2. LEED Sistemi

Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), Amerika Birleşik Devletleri Yeşil Binalar Konseyi (USGBC) tarafından 1998 yılında geliştirilmiştir. LEED sistemi binaların yanı sıra yerleşim ölçeğinde de değerlendirme yapmayı olanaklı kılmaktadır. Çalışmada bina ölçeği ele alınmış ve LEED 2016 incelenmiştir. Sistemin temel özellikleri aşağıda kısaca açıklanmıştır.

- LEED sistemi, binaların tasarım ve yapım aşamasındaki (LEED BD+C: Building Design and Construction) ve yapım sonrasındaki (LEED O+M: Building Operations and Maintenance) performansının belirlenmesi için kullanılabilmektedir.
- Bina tipleri çekirdek-kabuk, okul, perakende satış (mağaza), veri merkezi, depo-dağıtım merkezi, konaklama yapısı ve sağlık yapısı ile bunların dışında kalan tipler olarak gruplandırılmaktadır.
- Binanın tasarım aşaması performansı için çekirdek-kabuk, okul, perakende satış (mağaza), veri merkezi, depo-dağıtım merkezi, konaklama yapısı ve sağlık yapısı ile bunların dışında kalan yeni yapı ele alınmaktadır.
- Binanın yapım sonrasındaki performansı için okul, perakende satış (mağaza), veri merkezi, depo-dağıtım merkezi, konaklama yapısı ile bunların dışında kalan mevcut yapı tipleri değerlendirilebilmektedir.
- Gerekli koşulların sağlanması durumunda sistemden alınabilecek en yüksek kredi bina fonksiyonuna göre değişiklik göstermektedir. Alınacak puanlara göre "Platin (Platinium)" olarak tanımlanan en yüksek değerlendirme sınıfı için 80 ve üzeri puan almak gerekmektedir. dir. Doğal aydınlatma açısından alınabilecek en yüksek kredi değeri bina tiplerine göre 2 ile 3 puan arasında değişiklik göstermektedir.
- Binanın tasarım aşaması performansı çekirdek-kabuk, okul, perakende satış (mağaza), veri merkezi, depo-dağıtım merkezi, konaklama yapısı ve sağlık yapısı ile bunların dışında kalan yeni yapı tipleri için değerlendirilebilmektedir. Binanın yapım sonrasındaki performansı okul, perakende satış (mağaza), veri merkezi, depo-dağıtım merkezi, konaklama yapısı ile bunların dışında kalan mevcut yapı tipleri için değerlendirilebilmektedir.
- Yeni ve mevcut bina durumlarında doğal aydınlatma konusu temelde "İç Çevre Kalitesi (Indoor Environmental Quality)" kategorisinde "günışığı" ve "görüş kalitesi" başlıkları ile ele alınmıştır. Buradaki ölçütler,
    - Günışığı için, sürekli kullanılan döşeme alanında günışığının varlığı, yıllık güneşlenme süresi ve günışığı aydınlık düzeyi,
    - Görüş kalitesi için, kullanıcının dış ortam görüşü olarak sıralanabilir.

- Ayrıca, dolaysız güneş ışığının yol açtığı kamaşma için sürekli olarak kullanılan tüm mekanlarda gölgelendirme elemanlarının manuel ya da otomatik kontrol ile kullanımı vurgulanmıştır.

LEED (BD+C)-Tasarım ve Yapım-İç Çevre Kalitesi kategorisindeki "Günışığı" başlığı kullanıcıları dış mekan ile ilişkilendirmeyi, sirkadiyen ritmi kuvvetlendirmeyi ve günışığını mekana alarak yapma aydınlatma enerjisi kullanımını azaltmayı amaçlamaktadır. Bu başlık altında öncelikle, sürekli kullanılan tüm mekanlarda, manuel ya da otomatik olarak (manuel müdahale ile) gölgelendirme elemanlarının kullanılması gerekliliği belirtilmiştir. Tüm bina tipolojilerinin sürekli kullanılan hacimlerinde günışığına ilişkin değerlendirme 3 seçeneğe göre yapılmaktadır. Birinci seçenekte günışığının varlığı ve yıllık güneşlenme süresi hesaplanmalı ve belirtilen değerler sağlanmalıdır. İkinci ve üçüncü seçeneklerde, hesaplanarak veya ölçülerek 300 lx - 3000 lx arasındaki aydınlık düzeyi değerlerinin oranına bağlı olarak kredi alınmaktadır. "Görüş Kalitesi" başlığı bina kullanıcılarının pencerelerden dış görüş aracılığıyla doğal dış ortam ile bağlantı kurmalarını amaçlamaktadır. Tüm bina tipolojilerinin sürekli kullanılan hacimlerindeki direkt görüş çizgisi değerlendirilmekte, fakat işlevlere göre sağlanması gereken değerler değişmektedir. Yeni binalar, çekirdek ve kabuk, okullar, perakende mağaza, veri merkezleri ve konaklama yapısında, sürekli kullanılan tüm döşeme alanının % 75'inden "dış mekan" direkt görüş çizgisi ile görülebilmelidir. Ek olarak, sürekli kullanılan tüm döşeme alanlarının % 75'i belirtilen dört görüş tipinden en az ikisine sahip olmalıdır. Depo ve dağıtım merkezlerinin, depolama ve dağıtım alanlarında kriter döşeme alanlarının % 25'i için geçerlidir. Sağlık yapısında hastanın yattığı ünitelerde, diğer alanlarda ise belirlenen çevre alanlar için yukarıdaki kriter içeriği geçerlidir [**3**].

LEED (O+M)- Yapım Sonrası-İç Çevre Kalitesi kategorisinde doğal aydınlatma konusu "Günışığı ve Görüş Kalitesi" başlığı altında ele alınmıştır. Bu başlık, okul, perakende satış (mağaza), veri merkezi, konaklama yapısı, depo ve dağıtım merkezleri ile bunların dışında kalan tüm mevcut yapılar için geçerlidir [**4**]. Bu kritere göre, günışığı aydınlık düzeyi sürekli kullanılan döşeme alanının en az % 50'sinde 300 lx -3000 lx arasında olmalı ve dış mekan direkt görüş çizgisi ile sürekli kullanılan döşeme alanının % 50'sinden görülmelidir.

2.3. DGNB Sistemi

Deutsche Gesellschaft Für Nachhaltiges Bauen (DGNB) sistemi Almanya'da Sürdürülebilir Bina Konseyi (DGNB) tarafından 2009 yılında ofis ve yönetim binaları için geliştirilmiştir. 2010 da mevcut ve yeni binalar, eğitim kurumları ve ticari binalar eklenerek kapsamı genişletilmiştir. Sistem 100 puan üzerinden değerlendirme yapmaktadır. % 80 ve üzeri puan en yüksek değerlendirme sınıfı "Altın (Gold)"a karşılık gelmektedir. Görsel konfor açısından alınabilecek kredi tüm değerlendirme sistemi içerisinde % 2.6'ya karşılık gelmektedir. Çalışmada ofis binaları için yayınlanmış DGNB 2014 incelenmiştir. Sistemin özellikleri kısaca aşağıda özetlenmiştir.

- Doğal aydınlatma konusu "Sosyokültürel ve İşlevsel Kalite (Sociocultural and functional quality)" kategorisinde "SOC 1.4 Görsel Konfor'" başlığı altında ele alınmıştır.
- Doğal aydınlatma ölçütleri,
    - Binadaki günışığı aydınlık düzeyi,
    - Sürekli kullanılan çalışma alanlarında yıllık günışığı aydınlık düzeyi,
    - Dolaysız güneş ışığının yol açtığı kamaşma,
    - Kullanıcı için dış ortam görüşü (dış görüş) olarak sıralanabilir.

Binada yeterli günışığı kriterinde, kullanılan alanların % 50'sinde yeterli günışığının sağlanması günışığı faktörüne bağlı olarak değerlendirilmektedir. Çalışma alanlarında sürekli kullanım için yeterli günışığı kriterinde ise hesaplama veya simülasyon ile günışığı değerlendirilmektedir. Kamaşma kontrolü ve dış görüş kriterlerinde malzemeye bağlı değerlendirme yapılmaktadır [**5**].

Çizelge 1. BREEAM, LEED ve DGNB Sertifika sistemlerinde doğal aydınlatma

Sistem	**Kategori**	**Başlık**	**Kriter**	**Kriter İçeriği**	**Kredi / Puan**	**Standart**
BREEAM New Construction	Sağlık ve Esenlik	HEA 01 Görsel Konfor	Günışığı	Ortalama günışığı faktörü ve düzgünlüğü veya minimum günışığı aydınlığı	1 - 4 kredi	EN 12464-1 Light and lighting - Lighting of workspaces
			Kamaşma kontrolü ve dış görüş	Kamaşma kontrol stratejileri dış görüş sağlayan saydamlık oranları	1 kredi	
BREEAM in Use	Sağlık ve Esenlik	HEA 01 Pencere	Yeterli günışığı	Saydamlık oranı: % 1 - % 10 arası ve % 10 üzeri olarak	1 - 2 kredi	
		HEA 02 Kamaşma Kontrolü	Kamaşma kontrolü	Manuel veya otomatik kontrol edilebilen gölgeleme elemanları	1 - 4 kredi	
		HEA 28 Dış görüş	Yeterli dış görüş	Uygun dış görüş mesafeleri verilmiştir	2 kredi	
LEED BD+C: Building Design and Construction	İç Çevre Kalitesi	Günışığı	Kamaşma kontrolü	Manuel veya otomatik kontrol edilebilen gölgeleme elemanları	1 - 3 kredi	Illuminating Engineering Society (IES) Lighting Measurements (LM) 83-12; IES The Lighting Handbook, 10th edition; ASHRAE 90.1–2010
			Günışığı ile aydınlanan döşeme alanı	300-3000 lx günışığı aydınlığının yıl içinde sağlanma oranı		
		Görüş kalitesi	Direkt görüş çizgisi	Hacimlerin % 75'inden direkt görüş çizgisi ile dış mekanın görülmesi ve dört görüş tipinden en az ikisine sahip olması	1 ve 2 kredi	
LEED O+M: Building Operations and Maintenance	İç Çevre Kalitesi	Günışığı ve Görüş Kalitesi	Günışığı ile aydınlanan döşeme alanı ve / veya Direkt görüş çizgisi	Hacimlerin en az % 50'sinde 300-3000 lx günışığı aydınlığı ve direkt görüş çizgisi ile dış mekanın görülmesi	2 ve 4 kredi	
DGNB	Sosyo-kültürel ve İşlevsel Kalite	SOC 1.4 Görsel Konfor	Yeterli günışığı (niceliksel)	Hacimlerin %50'sinde yeterli günışığı sağlanması	8, 15 ve 20 puan	ISO 9836
			Yeterli günışığı (niceliksel)	Çalışma alanlarında sürekli kullanım için yıllık yeterli günışığı miktarının sağlanması	8, 15 ve 20 puan	DIN V 18599
			Dış görüş (niceliksel)	Gölgeleme elemanlarının dış görüş sağlama özelliklerine bağlı değerlendirme	8, 15 ve 20 puan	EN 14501 Chapter 6.5, DIN 5034
			Doğal aydınlatma ile ilgili kamaşmanın önlenmesi (niteliksel)	Gölgeleme elemanlarının kamaşmayı önleme özelliklerine bağlı değerlendirme	10, 15 ve 20 puan	EN 14501 Chapter 6.5

2.4. HQE Sistemi

Haute Qualité Environnementale (HQE) Fransa' da Association The Haute Qualité Environnementale tarafından 1992 yılında geliştirilmiştir. 2016 yılında Yeşil Bina Setifikasyonu (Green Building Certification; GBC) ile birleşerek HQE-GBC olarak hizmet vermektedir. HQE sistemi, bina ve yerleşimlerin performanslarının belirlenmesi için kullanılabilmektedir. Sistem yıldız sistemi ile değerlendirme yapmaktadır. 16 yıldız üzerinden 12 yıldız ve üzeri (enerji temasından en az 3 yıldız alınarak) elde edilmesi "Fevkalade (Exceptional HQE)" sınıfına karşılık gelmektedir. Doğal aydınlatmanın dahil olduğu konfor temasından 4 yıldız alınabilmektedir. Çalışmada, bina ölçeği ele alınmış, sistemin temel özellikleri aşağıda verilmiş ve kısaca açıklanmıştır. Aşağıda belirtilen yapım aşamasında konut binaları, yapım aşamasında konut dışı binalar ve mevcut binalar kılavuzlarının 2014 versiyonları incelenmiştir.

- HQE sisteminde binaların yapım aşamasındaki (yeni bina; HQE^{TM} Practical Guide Environmental Performance Building Under Construction) ve yapım sonrasındaki (mevcut bina; HQE^{TM} Practical Guide Buildings in Operation Sustainable Use) performansının belirlenmesi için kullanılabilmektedir.
- Yeni binalar için bina tipleri konut ve konut dışı olarak gruplandırılmıştır.
- Doğal aydınlatma konusu binalara yönelik ölçütler,
    - Saydamlık oranı,
    - Ortalama günışığı faktörü,
    - Dolaysız güneş ışığının yol açtığı kamaşma,
    - Kullanıcı için dış ortam görüşü (dış görüş) olarak sıralanabilir.
- Ayrıca bina tasarım aşamasında arazideki diğer yapıların uzaklık ve yüksekliklerinin dikkate alınması ve mekanın güneş ışığı ve günışığı girebilecek biçimde düzenlenmesi gerektiği de vurgulanmaktadır.

HQE^{TM}-Yapım Aşaması-Konut Dışı Binalar (HQE^{TM} Practical Guide Environmental Performance Building Under Construction - Non-residential building under construction) bölümünde yer alan "Hedef 1 – Arazi" kategorisinin "1.3. Binanın yerel sakinler üzerindeki etkisi" alt kategorisinde yerel sakinlerin güneşe, günışığına ve dış görüşe erişiminin sağlanması hedeflenmektedir. Bu bağlamda, peyzaj alanlarının planlanması, bina çevresinin bitkilendirilmesi ve günışığını maskelemenin azaltılması seçeneklerinden en az biri sağlanmalıdır. "Hedef 10 - Görsel Konfor" kategorisinin "10.1. Doğal aydınlatmanın optimize edilmesi" başlıklı alt kategorisinin içeriği bina tiplerine göre değişmektedir. Örneğin; ofis ve eğitim yapılarında ön şart olarak "10.1.1. Duyarlı mekanlarda günışığına erişim" başlığı, mekanların % 100'ünde günışığına erişimin sağlanmasını gerekli kılmaktadır. "10.1.2. Duyarlı mekanlarda dış görüşe erişim" başlığında ise mekanların % 100'ünde dış görüşe erişim olmasının gerektiği belirtilmektedir. "10.1.3. Minimum seviyede doğal aydınlatma olması" başlığında ilgili kriter minimum günışığı faktörüdür. Hacimlerin yapı kabuğunda pencere olması ya da olmamasına bağlı olarak sağlanması gereken minimum günışığı faktörleri ve alınabilecek krediler değişmektedir. "10.1.4. Doğal ışığın niteliği" başlığında ilgili kriter "kamaşma" dır. Kamaşma istenmeyen mekanlarda, direkt güneş ışığına karşı korunmak, günışığını yönlendiren, filtreleyen vb. önlemler kredi alınmasını sağlamaktadır. Sirkülasyona ayrılmış büyük ortak mekanlar, mağazalar, sergi salonları, oteller, depolar, soğutulan depo alanları, bütün bina tiplerindeki ortak mekanlar için doğal aydınlatmaya yönelik kriterler ayrıca belirtilmiştir [**6**].

HQE™-Yapım Aşaması-Konut Binaları (HQE™ Scheme Environmental Performance Residential Building - Assessment scheme for the environmental performance of residential buildings under construction) bölümünün "Hedef 10 - Görsel Konfor" kategorisindeki "10.2 Doğal Aydınlatma" başlığında "saydamlık oranı" ve "ortalama günışığı faktörü" kriterleri bulunmaktadır. Saydamlık oranı "ön şart" olarak belirtilmiştir. Buna göre konutun, yaşam veya yatak odası hacimlerinden birinde saydamlık oranı en az % 15 olmalıdır. Yaşam ve yatak odalarına ilişkin sağlanması gereken en az "ortalama günışığı faktörü" değerleri listelenmiştir. Ayrıca, çok katlı binaların yatay ve düşey sirkülasyon alanlarında doğal aydınlatmanın varlığı da kredilendirilmektedir [**7**].

HQE™-Mevcut Binalar (HQE™ Practical Guide Buildings in Operation Sustainable Use**)** bölümünün "10. Görsel Konfor' kategorisinin "10.2.1. Günışığına erişim" başlığında doğal ışığın direkt ya da endirekt olarak iç mekana alınması gerektiği belirtilmektedir. Ofis binaları için zorunlu bu konu ile ilgili kredi, doğal aydınlık düzeyi hesabının yapılarak 'Sürdürülebilir Bina' başlığında verilen değerleri sağlaması ve bu durumun belgelendirilmesi ile alınabilmektedir. "10.2.2 Dış görüşe erişim" başlığında yer alan "dış görüşe erişim" kriteri ön şart olup gerekli görüş çizgisi sağlanmalıdır. "10.2.3. Direkt ve endirekt kamaşma oluşumunun denetlenmesi' başlığında kamaşma riski oluşturacak etkenlerin denetim altına alınması beklenmektedir. Doğal aydınlatmanın oluşturabileceği kamaşma durumları, mekan yüzeylerindeki parıltı (luminance) dağılımı değerlendirilmesi ile yapılmalıdır [**8**].

2.5. TSE Güvenli Yeşil Bina Belgelendirmesi

Ülkemizde Türk Standartları Ensititüsü (TSE) 2014 yılında Güvenli – Yeşil Bina belgelendirme faaliyetlerinin yürütülmesi, bu faaliyetler kapsamında düzenlenen belgeler ve bunlarla ilişkilendirilmiş markaların kullanılmasının düzenlenmesi amacıyla "Güvenli Yeşil Bina Belgelendirme Usul ve Esasları" başlıklı bir standart yayımlamıştır. Burada, "Sağlık, Güvenlik ve Konfor" kategorisi altında doğal aydınlatmaya yönelik "günışığından yararlanma" bölümü bulunmaktadır. Kriterin ilgili kredisini alabilmek için yangın güvenliği, deprem güvenliği, iç ortam kalitesi / sağlıklı hava, radyasyon salınımı ve elektromanyetik kirlilik konuları ön şart olarak tanımlanmıştır. Puanlama kriterlerinin toplamı 300 puana karşılık gelmekte ve günışığından yararlanma kriteri 6 puan sağlamaktadır [**9**].

2.6. ÇEDBİK Konut Sertifikası Sistemi

ÇEDBİK Konut Sertifikası, ülkemizde 2018 yılında Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği tarafından yayımlanmıştır. Yapım aşamasında olan ("Yeni Konutlar") konut binalarının performanslarının belirlenmesi için kullanılmaktadır. Sistemde alınabilecek en yüksek puan 110'dür. Doğal aydınlatma açısından alınabilecek en yüksek puan 1 ve 2 puan arasında değişiklik göstermektedir. Sistemde doğal aydınlatma "Günışığından Yararlanma" başlığı ile "Sağlık ve Konfor" kategorisinde yer almaktadır. Ortalama günışığı faktörünün değerlendirildiği kılavuzda, mutfak ve tüm yaşam alanlarında (salon, oturma odası, çalışma odası, yemek odası, yatak odaları) sağlanacak ortalama günışığı faktörüne göre puan alınmaktadır. Ayrıca, tüm yaşam alanlarında çalışma düzleminin % 80'inden gökyüzü görüşü sağlanması ilgili puanın alınmasını sağlamaktadır [**10**].

Çizelge 2. HQE Sertifika sisteminde doğal aydınlatma

Sistem	Kategori	Başlık	Kriter	Kriter İçeriği	Puan	Standart
HQE	Hedef 1 - Arazi 1.3. Binanın yerel sakinler üzerindeki etkisi	1.3.1. Yerel sakinlerin güneş ve doğal aydınlatmaya erişim hakkı	Güneş ve doğal ışığa erişim	Binanın hacminin, sakinlerin güneş ışığına ve doğal ışığa erişimini geliştirecek şekilde düzenlenmesi	3 puan	EN 12464-1 Light and lighting - Lighting of workspaces
		1.3.3. Yerel sakinlerin görüşe erişim hakkı	Görüşe erişim	Peyzaj alanlarının planlanması, bina çevresinin bitkilendirilmesi ve maskelemeyi azaltmak seçeneklerinden en az biri. Komşu arazi sınırı ile proje cepheleri arasındaki mesafenin ve proje yüksekliğinin oranına göre puan alınmaktadır.	1 ve 3 puan	
	Hedef 10 - Görsel Konfor 10.1. Doğal aydınlat-manın optimize edilmesi Ofis ve eğitim yapıları-	10.1.1. Duyarlı mekanlarda günışığına erişim	Günışığına erişim	Günışığı faktörü sağlama oranına bağlı değerlendirme	ÖN ŞART	
		10.1.2. Duyarlı mekanlarda dış görüşe erişim	Dış görüşe erişim	Hacmin % 100'ünde dış görüşün sağlanması	ÖN ŞART	
		10.1.3. Minimum seviyede doğal aydınlatma olması	Minimum günışığı faktörü	Günışığı faktörü değerine ve hacimde gerçekleşme oranına bağlı değerlendirme	1, 2 ve 5 puan	
		10.1.4. Doğal ışığın niteliği	Kamaşma	Direkt ve endirekt güneş ışığına karşı korumanın sağlanması	1 ve 3 puan	

Çizelge 3. TSE ve ÇEDBİK sertifika sistemlerinde doğal aydınlatma

Kılavuz	Kategori	Başlık	Kriter	Kriter İçeriği	Puan	Standart
TSE	Sağlık, Güvenlik ve Konfor	Günışığından yararlanma	Günışığı	Kriterin ilgili kredisini alabilmek için yangın güvenliği, deprem güvenliği, iç ortam kalitesi / sağlıklı hava, radyasyon salınımı ve elektromanyetik kirlilik konuları ön şarttır.	6 puan	TSE Güvenli Yeşil Bina Belgelendir-me Usul ve Esasları
ÇEDBİK	Sağlık ve Konfor	Görsel Konfor	Yeterli günışığı	Mutfak ve tüm odalar Ortalama günışığı faktörleri Tüm yaşam alanlarında çalışma düzleminin % 80'inden gökyüzü görüşü sağlanmalıdır.	0,5 - 2 puan	BS 8206-2

3. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu çalışmada, dört uluslararası ve iki ulusal yeşil bina sertifika sistemlerinin doğal aydınlatma konusuna yaklaşımları, ölçütleri incelenmiştir. Çalışmada ele alınan yeşil bina sertifika sistemlerinin genel özellikleri Çizelge 1-3'te sunulmuştur. İncelemeden elde edilen bulgular aşağıdaki gibi değerlendirilebilir.

- İncelenen tüm sistemlerde doğal aydınlatmanın önemi vurgulanmıştır.
- Kimi sistemler yapım aşamasındaki (yeni) kimileri ise hem yeni hem de mevcut binalar için ölçütler getirmişlerdir. Ayrıca yerleşim ölçeğinde de doğal aydınlatmaya yönelik ölçütleri olan sistemler bulunmaktadır.
- Ölçütler, sistemlerde değişik başlıklar altında yer alabilmektedir Ancak, en sık rastlanılan ölçütler, günışığı faktörü, günışığı aydınlık düzeyi, dolaysız güneş ışığının yol açtığı kamaşma ve kullanıcı için dış ortam görüşü (dış görüş) olarak sıralanabilir. Ölçütlerin sayısal değerlerinin hesaplanması ve ölçülmesinde kullanılacak yöntemler de sistemlere göre değişebilmektedir. Ayrıca, enerji verimliliği açısından günışığının etkin kullanımı, yapay aydınlatma ve gölgeleme sistemlerinin kontrol edilebilirliği, gölgeleme elamanlarının dış görüş ve renksel geriverim açılarından değerlendirilmesi gibi ölçütlerine de yer verilmiştir.
- Her sistem kendine özgü kredilendirme (puanlama) yaklaşımı kullanmaktadır. Sistem bütününden alınabilecek maksimum ve minimum değerler ayrımlar göstermektedir. Bu bağlamda doğal aydınlatma konusundaki puanlar da değişkenlik göstermektedir. Bununla birlikte, doğal aydınlatmanın sistem payı ortalama %3 dolaylarındadır.
- Sistemler genelde kendi ülkelerindeki standart ve yönetmelikleri kaynak olarak vermektedir. LEED sisteminde ASHRAE ve ANSI standartlarına, Avrupa ülkelerinde kullanılan BREEAM, DGNB ve HQE sistemlerinde ise BS, DIN, ulusal standartlara veya EN standartlarına uygunluğun belgelenmesinin istendiği görülmektedir.

Sürdürülebilir mimari için binaların tüm özellikleri kullanıcı konforu başta olmak üzere enerji tüketimi, çevresel etki ve maliyet konuları açısından gerekli değerleri sağlamalıdır. Bu bağlamda, yapı kabuğundaki saydam alanlardan mekana giren, kullanıcı görsel konforunun ayrılmaz bir parçası olan doğal ışığın doğru kurgulanması sürdürülebilir yeşil binalarda büyük önem taşımaktadır. Yeşil bina sistemlerinin sürekli gelişme içinde olduğu, belirli aralıklarla yeni versiyonların kullanıma sunulduğu göz önüne alındığında, çalışmaların giderek hız kazanacağı ve doğal aydınlatma konusunda da ilerleme olacağı, yeni ölçütler geliştirileceği açıktır. Nitekim Türkiye'de de Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından Aralık 2017'de "Binalar ve Yerleşmeler için Yeşil Sertifika Yönetmeliği" yayınlanarak ilk adım atılmış ve bundan sonraki gelişmeler için bir başlangıç yapılmıştır.

KAYNAKLAR

1. BRE, *BREEAM International New Construction Technical Manual*, SD5075, Versiyon: 2013, Sayı: 1.0, (2014).
2. BRE, *BREEAM In-Use International Technical Manual*, SD221, 1.0:2015, Versiyon: 0, (2015).
3. U.S. Green Building Council (USGBC), *LEED Reference Guide for Building Design and Construction*, 4. Versiyon, (2016).
4. U.S. Green Building Council (USGBC), *LEED Reference Guide for Building Operations and Maintenance*, 4. Versiyon, (2016).
5. DGNB, *DGNB Core and Scheme Sheet Offices Version*, (2014).
6. Cerway, *HQE™ Practical Guide Environmental Performance Building Under Construction - Practical guide to the assessment scheme for the environmental performance of non-residential building under construction*, Versiyon: 15 Ekim 2014, (2014).
7. Cerway, *HQE™ Scheme Environmental Performance Residential Building - Assessment scheme for the environmental performance of residential buildings under construction,* Versiyon: 15 Ekim 2014, (2014).
8. Cerway, *HQE™ Practical guide Buildings in Operation Sustainable Use - Practical Guide to the technical scheme for buildings in operation - sustainable use,* Versiyon: 23 Ekim 2014, (2014).
9. TSE, *TSE Güvenli Yeşil Bina Belgelendirmesi*, TSE Yeşil Bina (Standard Dergisi), (2015).
10. ÇEDBİK, *ÇEDBİK-Konut Sertifika Kılavuzu, Yeni Konutlar,* Versiyon: 1.0, (2018).

3.Ulusal
Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi

10-11 Mayıs 2018
İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul

YEŞİL BİNA SERTİFİKA SİSTEMLERİNDE YANGINDAN KORUNMA

Dr. Öğr. Üyesi Nuri Serteser [a]
Gökçe Saadet Arpacı[b]
İTÜ Mimarlık Fakültesi
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

ÖZET

Yapılan tüm yeşil bina sertifika çalışmalarında temel amaç gelecek nesillere kaynakları tükenmemiş yaşanabilir bir dünya bırakmaktır. Binanın tasarımında ele alınan ya da yeşil bina sertifikası almak için bina işletme sürecinde yapılan tüm değişiklikler beraberinde yangın gibi bina kullanıcılarına ve binaya zarar verebilecek önemli riskler içerebilir. Diğer hususların yanı sıra yeşil binaların yangın performansının değerlendirilmesi için, binanın yangın emniyetini etkileyen ana tasarım ve sonradan oluşabilen birincil değişiklikler üzerine yoğunlaşmış araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Yeşil bina sertifika sistemlerine sahip olabilmek için yerel yönetmelik ve standartların dışında alınabilecek yangın emniyet önlemlerinin, binanın sürdürülebilirlik kriterlerini sağlama yönünde bütünleyici olması gereklidir. Bu çalışmanın temel amacı, dünyada yaygın olarak kullanılan yeşil bina sertifika sistemlerinde yangın emniyeti konusunda mevcut olan içeriği incelemek ve konuya vurgu yapmaktır. Çalışmada yangından korunma kapsamındaki içerikler, DGNB, Breeam, LEED, SBtool, Casbee HQE ve Greenstar sertifika sistemlerinin kılavuzlarında yapılmış ve sonuçlar tablolar halinde sunulmuştur.

Anahtar sözcükler: Yangından korunma, Yeşil bina sertifika sistemleri

ABSTRACT

The main goal in all green building certification work is to leave an unexhausted and habitable world of resources for future generations. Any changes to the building's design process that are addressed in the building's design or to obtain a green building certificate might involve significant risks that may harm the building users and the building. There is a need for research that focuses on assessing the fire performance of green buildings (among other things) and on the primary changes that affect building performance, fire and safety. In order to have green building certification systems, fire safety measures that can be taken outside the local regulations and standards must be integrating the building in order to meet the sustainability criteria. The main purpose of this study is to examine the literature on the existing situation and the determination of the situation. Contents regarding with the fire protection issue in this study are made in the guides of DGNB, Breeam, LEED, SBtool, Casbee HQE and Greenstar certification systems and the results are presented in tabular form.

Key words: Fire safety, Green building certification systems

[a] e-posta adresi: serteser@itu.edu.tr
[b] e-posta adresi: g.arpaci91@gmail.com

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze bakıldığında 18. yüzyılda sanayi devrimi sonrasında yaşanan gelişmeler ile bölgesel olarak başlayan çevre sorunları, giderek küresel ölçeklere ulaşmış ve 21. yüzyıla gelindiğinde doğal kaynakların hızla tükenmesi, çevre kirliliği, türlerin azalması, iklimsel değişiklikler, doğal afetler ve enerji sorunu olarak kendini göstermiştir. Geçtiğimiz yüzyıl içinde kara ve denizlerin ortalama sıcaklığı 0.6 °C yükselmiştir [**1**]. Tüketim toplumunun hızla artması, başta çevre kirliliği olmak üzere, küresel ısınma ve iklim değişikliği, doğal bitki örtüsü ve toprak kaynaklarının bozulması, su kaynakları ve içme suyunun azalması, biyoçeşitliliğin tahribi ve ozon tabakasının zarar görmesi gibi büyük sorunlarla beraber yoğun miktarda atık kirliliğini de ortaya çıkarmıştır. Bu atıklar önceleri toplumda sorunlara neden olmazken, zamanla büyüyerek bütün dünya ekosistemini tehdit edecek boyutlara ulaşmıştır. Çevresel kaygılar "sürdürülebilirlik" kavramını ortaya çıkarmış ve bu kavram, "sürdürülebilir kalkınma" bakış açısıyla aralarında inşaat sektörünün de bulunduğu birçok önemli alanda kendine yer bulmuştur [**2**].

Yapı sektörü, en büyük toplumsal ve ekonomik etkiye sahip sektörlerden biri olmakla beraber doğal çevre üzerinde oldukça büyük etkiye sahiptir. Tüm yapı aktiviteleri su, enerji ve malzeme gibi bazı bileşenlerin kullanımı, yeniden dağıtılması ve bir araya getirilmesini içermektedir [**3**]. "Dünya genelinde tüketilen enerjinin %50'si, suyun %42'si yapı inşasında ve kullanım süreçlerinde harcanmaktadır. Küresel ısınmaya neden olan sera gazlarının %50'sinin, içme sularındaki kirlenmenin %40'ının ve hava kirliliğinin %24'ünün ise yapılarla ilişkili faaliyetlerden kaynaklandığı göz önünde bulundurulduğunda, yapı üretim sürecinin küresel ısınma ve enerji tüketimine olan etkisinin büyüklüğü daha net anlaşılmaktadır" [**4**]. "Aynı zamanda, yüzeysel katı atıkların %20'si ve karbondioksit salımlarının %50'si yapılarla ilişkili uygulamalardan kaynaklanmaktadır" [**5**]. Günümüzde sürdürülebilir, ekolojik, çevre dostu gibi birçok isim ile karşımıza çıkan yeşil binalar, yapının arazi seçiminden başlayarak yapım, kullanım ve kullanım sonrası düşünülerek bütüncül bir anlayışla, sosyal ve çevresel sorumluluk gözetilerek tasarlanan, projenin gerçekleştirileceği yerin iklim vb. çevresel verileri göz ardı edilmeden bölgenin kendine özgü koşulları dikkate alınarak, ihtiyacı kadar tüketen ve ihtiyacı mümkün olduğu kadar azaltılmış, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiş, doğal ve atık üretmeyen malzemelerin kullanıldığı, ekosistemlere duyarlı ve sürdürülebilir yapılar olarak tanımlanmaktadırlar [**6**].

2. YEŞİL BİNA SERTİFİKA SİSTEMLERİ

"Binalar, yapı hammaddelerinin kaynağından elde edilmesinden, kullanımına; kullanımından, bina ömrünün sona ermesine kadar geçen yaşam döngüleri boyunca çevresel sorunların oluşumuna sebep olmaktadır. Bu sorunların önlenmesi amacıyla ortaya çıkan yeşil bina yaklaşımının genel olarak hedefleri su ve enerji kullanımının, bakım-onarım maliyetlerinin, binayla ilişkili sorunların, atık ve kirliliğin azaltılması; yapı malzemelerinin verimliliği, bina konforu, bina ve bileşenlerinin dayanıklılığı ve esnekliğinin arttırılmasıdır" [**7**]. "Yeşil Bina Sertifika Sistemleri" bu hedefleri gerçekleştirebilmek adına oluşturulmuştur.

Yeşil bina sertifika sistemleri olarak ifade edilen bu ölçme sistemleri, bina bazındaki projelerin çevresel etkileri ve doğal kaynakları korumadaki duyarlılıkları hakkında ölçülebilir referanslar sağlamaya çalışan derecelendirme sistemleri olarak tanımlanmaktadır [**8**]. Tüm dünyada bölgesel ve küresel ölçekte birçok yeşil bina sertifika sistemi bulunmaktadır. **Tablo 1**'de yaygın olarak kullanılmakta olan bu sertifika sistemlerinden bazıları yer almaktadır:

Tablo 1: Dünyada yaygın olarak kullanılan yeşil bina sertifika sistemleri

Sistem Adı	Açılımı	Ülke	Yıl	Kriterler	Sertifika Düzeyleri
Breeam	Building Research Establishment Environmental Assessment Method	İngiltere - Uluslararası	1990	-Yönetim -Enerji -Su -Ulaşım -Sağlık ve Konfor -Atık -Malzemeler -Arazi Kullanımı ve Ekoloji -Kirlilik -Yenilik	Geçer (1 Yıldız) İyi (2 Yıldız) Çok İyi (3 Yıldız) Mükemmel (4 Yıldız) Olağanüstü (5 Yıldız)
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design	ABD-Uluslararası	1998	-Yenilik ve Tasarım -İç Mekan Hava Kalitesi -Malzeme ve Kaynaklar -Sürdürülebilir Arsalar -Su Etkinliği -Enerji ve Atmosfer	Sertifika (40-49 puan) Gümüş (50-59 puan) Altın (60-79 puan) Platin (80 puan ve üstü)
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen	Almanya-Uluslararası	2008	-Yenilik ve Tasarım -İç Mekan Hava Kalitesi -Malzeme ve Kaynaklar -Sürdürülebilir Arsalar -Su Etkinliği -Enerji ve Atmosfer	Sertifika (-35puan) Bronz (35-50 puan) Gümüş (50-65 puan) Altın (65-80 puan)
Sbtool	Sustainable Building Tool	Çok Ortaklı	2002	-İç Mekan Hava Kalitesi -Enerji ve Kaynak Tüketimi -Çevresel Yükler -Sosyal ve Ekonomik Esaslar -Kültürel ve Algısal Esaslar -Arsa Seçimi, Proje Planlama ve Geliştirme	-1 (olumsuz) 0 (Kabul Edilebilir) 3 (İyi Uygulama) 5 (En İyi Uygulama)
Casbee	Comprehensive Assessment System Built Environment Efficiency	Japonya	2004	-İç Mekan Çevresi -Servis Kalitesi -Arsada Dış Mekan Çevresi -Enerji -Kaynaklar ve Malzemeler -Arsa Dışındaki Çevre	S, A, B+ B-, C

Green Star	Green Star (Yeşil Yıldız)	Avustralya	2002	-Enerji -Malzeme -İç Mekan Çevre Kalitesi -Ulaşım -Yönetim -Su -Arazi Kullanımı ve Ekoloji -Kirlilik -Yenilik	4 Yıldız (45-59 puan) 5 Yıldız (60-74 puan) 6 Yıldız (75-100 puan
HQE	Yüksek Çevre Kalitesi	Fransa-Uluslararası	2005	-Enerji -Çevre -Sağlık -Konfor	Yıldızı yok: HQE PASS 1 ila 4 yıldız: HQE GOOD 5 ila 8 yıldız: HQE ÇOK İYİ 9 ila 11 yıldız: HQE EXCELLENT 12 yıldız ve daha fazlası: HQE EXCEPTIONAL

3. YEŞİL BİNA SERTİFİKA SİSTEMLERİNDE YANGINDAN KORUNMA

Tüm dünyada yaygın olarak kullanılan ve **Tablo 1**'de bahsedilen yeşil bina sertifika sistemlerinin pek azında "yangından korunma" ana kriterlerden biri olarak karşımıza çıkmakta ve puan sistemine katkıda bulunmaktadır. Sertifika sistemlerinin çoğunda bölgesel yönetmeliklere atıfta bulunulup bunların göz önüne alınmış olması yeterli görülmekte ve puanlama sistemine herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. Yangından korunma konusunun bina değerlendirmesinde dikkate alındığı bu sertifikalar aşağıda yer almaktadır.

3.1. DGNB

Güncel olarak bakıldığında uluslararası kullanımda olan sertifika sistemleri içerisinde yangından korunmaya en fazla önem veren yeşil bina sertifika sistemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Ekonomik kalite, çevresel kalite, süreç kalitesi, sosyo-kültürel ve fonksiyonel kalite ile teknik kalite değerlendirme ölçütü ana başlıklarından teknik kalite kriteri, DGNB puan sistemin %22,5'ini oluşturmaktadır. Teknik kalite kriteri değerlendirme ölçütünün altı alt başlığından birisi yangından korunmadır. DGNB sertifika sisteminde yangın emniyeti, bir kontrol listesi temelinde değerlendirilmektedir ve bölgesel yangın yönetmeliklerine uymayan yapıların DGNB sertifikası alması mümkün değildir. Yerel yönetmeliklerin dışında aşağıda **Tablo 2**'de verilmiş olan standartlara da uyulması beklenmektedir.

Tablo 2: DGNB'de yangından korunma ile ilgili uygulamalar

Başlık	Standart	Açıklamalar
Genel Gereksinimler	EN 15269-1:2010	Bina donanımı elemanları da dahil olmak üzere kapı, panjur ve pencereler için yangın dayanımı ve / veya duman kontrolü için test sonuçlarının genişletilmiş uygulaması - Bölüm 1: Genel şartlar.

Çelik sürgülü kapılar	EN 15269-7:2009	Genişletilmiş test uygulaması kapı donanımları, kapı ve panjurlar için, bina donanımı elemanları da dahil olmak üzere, yangın dayanımı ve / veya duman kontrolü için sonuçlar - Bölüm 7: Çelik sürgülü kapı setleri için yangına dayanıklılık.
Menteşeli ve pivotlu çelik, kereste ve metal çerçeveli camlı kapılar	EN 15269-20:2009	Bina donanımı elemanları da dahil olmak üzere kapı, panjur ve pencere açma tertibatları için yangın dayanımı ve / veya duman kontrolü için test sonuçlarının genişletilmiş uygulaması - Bölüm 20: Menteşeli ve döner çelik, ahşap ve metal çerçeveli camlı kapılar için duman kontrolü.
Çelik kepenk tertibatları	EN 15269-10:2011	Yapı donanımının elemanları da dahil olmak üzere kapı, panjur ve açılır pencere takımları için yangın dayanımı ve / veya duman kontrolü için test sonuçlarının genişletilmiş uygulaması - Bölüm 10: Çelik panjur tertibatlarının yangın dayanımı.
Menteşeli ve pervazlı ahşap kapılar ve ahşap çerçeveli pencereler	EN 15269-3:2012	Bina donanımı elemanları da dahil olmak üzere kapı, panjur ve pencere açma tertibatları için yangın dayanımı ve / veya duman kontrolü için test sonuçlarının genişletilmiş uygulaması - Bölüm 3: Menteşeli ve döner ahşap kapı setlerinin yangın dayanımı ve ahşap çerçeveli pencereler.
Menteşeli ve döner çelik kapılar	EN 15269-2:2012	Yapı elemanları da dahil olmak üzere kapı, panjur ve açılır pencere takımları için yangın dayanımı ve / veya duman kontrolü için test sonuçlarının genişletilmiş uygulaması - Bölüm 2: Menteşeli ve döner çelik kapı takımlarının yangın dayanımı.

Bina asgari yönetmelik gerekliliklerini karşıladığı takdirde aşağıda verilen nitelikler hedeflenerek değerlendirilmeye alınır. Ancak bazı koşullar altında değerlendirme yetkilisi, başka koşulları sağlamak adına yönetmeliklerin dışına çıkılacak durumlar için alternatif yangından korunma koşulları ile sapmalara izin verebilir. Hedeflenen nitelikler şunlardır:

- Bir yangın durumunda zehirli gazların ve yüksek miktarda dumanın oluşmasına yol açabilecek veya yangının yayılmasını hızlandırabilecek (örneğin damlama yoluyla) inşaat malzemelerinin kullanımından kaçınılması
- Ateşe dayanıklılık derecesinin artırılması
- Duman tahliyesi için en kesitlerin büyütülmesi
- Daha küçük yangın/duman kesitleri

Tablo 3'de yapı malzeme ve elemanlarının sınıflandırılması ve **Tablo 4**'de duman kontrolü ile ilgili içerik yer almaktadır.

Tablo 3: Yapı ürünlerinin sınıflandırılması

Başlık	Standart	Açıklamalar
Yapı malzemelerinin ve yapı elemanlarının yangın sınıflandırması - Bölüm 1: Reaksiyona tepki testlerinden elde edilen verilerin sınıflandırılması	EN 13501 1:2007+ A1:2009	Döşeme ve doğrusal boru izolasyon ürünleri hariç inşaat ürünleri.

Yapı malzemelerinin ve yapı elemanlarının yangın sınıflandırması - Bölüm 2: Havalandırma hizmetleri hariç yangın direnci testlerinden elde edilen verilerin sınıflandırılması	EN 13501-2:2007+ A1:2009	a) Bir yangın ayırma fonksiyonu olan veya olmayan ve camlı servisler veya armatürler olmayan veya içermeyen yük taşıyıcı elemanlar: duvarlar; katlar; çatılar kirişler; sütun; balkon; yürüme yolları; merdivenler. b) Yangın koruyucu kaplamalar, kaplamalar ve ekranlar. c) Yük taşımayan elemanlar veya cam parçaları, servisler ve demirbaşlar bulunmayan veya olmayan işlerin bölümleri: bölümler; cepheler (perde duvarlar) ve dış duvarlar; bağımsız ateş direncine sahip tavanlar; yangın kapıları ve kepenkleri ve kapanma cihazları; duman kontrol kapıları; konveyör sistemleri ve kapanmaları; sızma contaları; doğrusal bağlantı contaları; servis kanalları ve şaftlar; bacalar. e) Yangından korunma kabiliyetine sahip duvar ve tavan kaplamaları.

Tablo 4: Duman kontrolü ile ilgili içerik

Başlık	Standart	Açıklamalar
Doğal duman ve ısı aspiratörleri	EN 12101-2:2003	Duman ve ısı kontrol sistemleri - Bölüm 2: Doğal duman ve ısı egzoz vantilatörleri için şartname.
Duman ve ısı aspiratörleri	EN 12101-3:2002	Duman ve ısı kontrol sistemleri - Bölüm 3: Elektrikli duman ve ısı egzoz fanları için şartname.
Duman engelleri	EN 12101-1:2005	Duman ve ısı kontrol sistemleri - Bölüm 1: Duman bariyerleri için şartname.
Duman ve ısı tahliye havalandırma sistemleri	CEN/TR12101-4:2009	Duman ve ısı kontrol sistemleri - Bölüm 4: Duman ve ısı havalandırma için kurulu SHEVS sistemleri.
Duman kanalı bölümleri	EN 12101-7:2011	Duman ve ısı kontrol sistemleri - Bölüm 7: Duman kanalı bölümleri.

3.2. BREEAM

1990 yılında kullanılmaya başlanan Breeam, kayıtlara göre ilk kullanılmaya başlanan sertifika sistemidir. Kullanım kılavuzunda "yangın" kavramı ilk olarak "doğal afetler" başlığının altında yer bulmaktadır. BREEAM sertifika sistemine göre binaların çevresel performansları on farklı değerlendirme ölçütü kapsamında 100 puan üzerinden değerlendirilmektedir. Kriterlerine yangından korunma perspektifinde bakıldığında bölgesel yönetmeliklerin karşılanmasının yanında değerlendirme ölçütlerinde malzeme başlığının altında "yangından korunma" yer almaktadır. Bu bölüm puanlamanın %12,5' ini oluşturmaktadır. BREEAM' in kullanımda olan uluslararası sürdürülebilir kategorilerinden "malzeme" başlığının aşağıdaki alt kategorileri yangından korunma ile alakalıdır. **Tablo 5**'de bu içerik yer almaktadır.

Tablo 5: Malzeme başlığı alında yer alan yangından korunma içeriği

Kod	Başlık	Amaç	Kredi

MAT 01 –	Durum Araştırılması	Kullanıcıların mülklerinin fiziki durumunu anlamalarını teşvik etmek ve yapısal, mekanik, elektrik, sıhhi tesisat, yangın koruma, iletişim ve can güvenliği sistemlerine ilişkin tüm eksiklikleri yönetmek.	4
MAT 04 –	Alarm sistemi izleme	Binanın içinde kullanıcı olduğu ve olmadığı durumlarda yangın ve benzeri durumlara cevap verebilir nitelikte olduğundan emin olmak.	4
MAT 11 –	Risk Yönetimi	Yasal gerekliliklerin ötesine geçen ve mülk ve çevre için yangın risklerini belirleyen bir yangın riski değerlendirmesinin yürütülmesini kabul etmek ve teşvik etmek ve bu etkileri mümkün olduğu kadar en düşük seviyede tutmak için prosedürler belirlemek.	2
MAT 12-	Risk Yönetimi	Varlık içerisinde yangın riskinin mümkün olduğu kadar düşük tutulmasını sağlayan proaktif yangın riski değerlendirme uygulamalarını tanımak ve teşvik etmek.	2
MAT 13	Acil Durum Planı	Yasal gereklilikleri aşan yangın riskini / acil durum planlarını teşvik etmek ve insanlara ek olarak mülk ve çevreyi korumayı amaçlamak.	4

3.3. LEED

Proje sayısı olarak bakıldığında tüm dünya üzerinde en çok kullanılan sertifika sistemi olan LEED sisteminde yer alan yangından korunma ile alakalı içerik **Tablo 6** ve **Tablo 7**'de verilmiştir.

Tablo 6: "LEED Reference Guide for Building Design and Construction" kılavuzunda yangından korunma içeriği

Başlık	Alt başlık	Açıklamalar
Bina Dışı Su Kullanımı Azaltımı	Açıklamalar- Alternatif Su Kaynakları	Yangın pompası test suyuna yer verilmiştir.
İşletmeye Alma ve Onaylama	Açıklamalar- İşletmeye Alınacak Sistemler	Bu ön koşul altında yer alması gerekli olmayan ancak bina sahibinin isteğiyle bu başlığın altında bulunabilecek sistemler şunlardır: • Kabuk • Can emniyeti sistemleri • İletişim ve veri sistemleri • Yangından korunma ve yangın alarm sistemleri • Proses ekipmanı
Kaliteli Görüntüler	Açıklamalar- Sağlık Yapısı Projelerinde Özel Önem Gerektiren Durumlar	Yangın yönetmeliği ve mahremiyet gereksinmeleri de fırsatları azaltmakta ve camlı alanlarda ilk yatırım maliyetini artırmaktadır.

Tablo 7: "LEED Reference Guide for Building Operation and Maintenance" kılavuzunda yangından korunma içeriği

Başlık	Alt başlık	Açıklamalar

Soğutma Kulesi Su Kullanımı	Açıklamalar- İçilemeyen Su Kaynaklarının Seçimi	İyi kalitede içilemeyen su kaynakları şunları içerir: • Air-conditioner yoğuşma suyu • Yağmur suyu • Buhar sistemi yoğuşma suyu • Gıdaları buharda pişirme suyu deşarjı • Yangın pompası test suyu • Soğutma makinesi yoğuşma suyu
Mevcut Bina İşletmeye Alma- Analizler	Açıklamalar- Mevcut Bina İşletmeye Alma Planı- İşletmeye Alma Test ve Prosedürleri	• Alarm testleri kontrol düzeneği veya bina otomasyon sistemi (BAS)'nin düzgün çalıştığının doğrulmasını takip eder. Ekipmanların acil durumlarda düzgün şekilde çalıştığını onaylar. Alarmlar genellikle tasarlanmayan işletme koşulları veya yangın gibi hayati emniyet gerektiren koşullarda ekipmanı korumak için işletme dizisi içinde programlanır.
Malzemeler ve Kaynaklar (mr)	Ortak İlgi Alanı Konuları- Ürünleri Nitelendirme ve Dışında Tutma	Mekanik tesisat, sıhhi tesisat ve elektrikli ekipmanlar (MEP), diğer ekipmanlar (asansörler, yürüyen merdivenler, işleme ekipmanları, yangın söndürme sistemleri gibi) ve projede geçici amaçla alınan ürünler (beton kalıpları gibi) malzemeler ve kaynaklar (MR) kredilerinin dışındadır.

3.4. SBTOOL

Saha değerlendirmesi başlığı altında yangın riski bulunan yerler hakkında aktif bir kriter bulunmaktadır. SBtool değerlendirilmesi yapılırken aktif kriterler projenin ön tasarım, tasarım, inşaat ve kullanım safhalarına göre puanlamaya dahil olmaktadır. Saha değerlendirmesi projenin ön tasarım safhasında bulunduğu belirtilerek en çok 35 en az ise 8 puan getirmesi ön görülmüş bir değerlendirme ölçütüdür.

3.5. CASBEE

Japonya' da 2004 yılında kullanılmaya başlanmış olan değerlendirme sistemi CASBEE' de yangından korunma ile alakalı olarak "Urban Development Technical Manual (2014 Edition)" içerisinde "Güvenlik ve Emniyet (Security/Safety)" kategorisi altındaki iki alt başlık içinde yer verilmiştir. **Tablo 8**'de bu başlık altındaki içerik görülmektedir.

Tablo 8: "Urban Development Technical Manual (2014 Edition)" da yangından korunma ile ilgili içerik

Başlık	Alt başlık	Açıklamalar
2.2 Güvenlik/ Emniyet	2.2.1.1 Temel felaket önleme performansı	Çeşitli tehlike haritalarının içeriğini anlama (doğal felaketlere dayanım, yangın vb.) ve deprem, heyelan, sel gibi felaketlere karşı önlemleri dikkate alan arazi kullanım planlarının hazırlanması değerlendirilir.
	2.2.1.2 Afet müdahale yeteneği	Madde: (2) Yangın kesici kuşaklarla kentsel yangın önleme alanları oluşumu İçerik: Oluşturulan kentsel yangın önleme alanları

"Yeni Binalar Teknik Kılavuzu" 2014 versiyonunda (New Construction Technical Manual, Version 2014) içerisinde "2.2.5 HVAC ve Su Temini ve Drenaj Boruları için Gerekli Yenileme Aralığı" başlığı altında yağmurlama (sprinkler) sistemleri borularının kullanım süreleriyle ilgili bölümlere yer verilmiştir. Beklenen hizmet ömürleri sıhhi tesisat için karbon çelik boru (beyaz)

için 30 yıl ve daha fazlası, bakır boru kullanımında 60 yıl ve daha fazlası olarak belirtilmiş ve "Kirletici İçeriği Olan Malzemelerin Kullanımından Kaçınılması" başlığı altında yangın söndürücüler ile ilgili değerlendirme ölçütüne yer verilmiştir. Ayrıca müstakil evler için olan teknik kılavuzunda uzun hizmet ömrü sağlamak adına yapı malzemelerinde ateşe dayanıklılık ile ilgili ölçütler bulunmaktadır.

3.6. HQE

2005 yılında kullanılmaya başlanan sertifika sisteminde yer alan yangından korunma içeriği **Tablo 9** ve **Tablo 10**'da yer almaktadır.

Tablo 9: "Non-residential Buildings - Additional Notes - PG Sustainable Use" kılavuzunda yer alan yangından korunma içeriği

Başlık	Alt Başlık	Açıklamalar	Kredi
2.1. Özel alanların sürdürülebilirlik ve adaptasyonu için konstrüksiyonel seçimler	2.1.2. Yeni yerleşim planı ve yer değiştirmeler için sürdürülebilirliğin dikkate alınması Ön şart aşaması	Bu ön şart aşaması uygulanan bitirme ürünlerinin, sistemlerinin ve işlemlerinin her zone veya oda için iç hava koşulları, nem oranı, depolanmış ürünler, yangın riski vb. açıdan binanın kullanımıyla uyumlu olduğunu garanti eder.	2
7.2. Özel alanlardaki enerji tüketiminin izlemesi ve kontrolü	7.2.2. Özel alanlardaki su tüketiminin izlenmesi için gerekli vasıtanın temini 2- Puan seviyesi	Temel olarak tüketim noktasını tanımlamak için kullanılan faktörlerden: • Mekandaki aktivite ve bundan dolayı planlanan su kullanımı (sağlık amaçlı kullanım, yüzme havuzu kullanımı, çamaşır amaçlı kullanım, onarım amaçlı kullanım, yangınla mücadele amaçlı kullanım vb.).	2

Tablo 10: "Buildings Under Const. - Scheme Technical Manual- Residential Technical Guidance" adlı kılavuzda yer alan yangından korunma içeriği

Başlık	Alt başlık	Açıklamalar
Binanın Çevresel Performansı ile İlgili Amaçlar	3: Çalışma alanı 3.2. İnşaat sahasının organizasyonu	Şantiye ve organizasyon planı, çevreyi çitle çevirme ve depolama alanları; Çalışanların emniyet ve hijyeni ile ilgili kurallar. Çevresel risklerin önlenmesi planı. Rahatsızlık veren unsurların önlenmesi planı (gürültü, toz, yangın, koku vb.). R Ön proje kesin hesabı ve tasarım kesin hesabı: Bina şantiye planı + Çalışanların emniyet ve hijyeni ile ilgili kurallar + Çevresel risklerin önlenmesi planı + Rahatsızlık veren unsurların önlenmesi planı.
Binanın Çevresel Performansı ile İlgili Amaçlar	Hedef 12: Mekan niteliği. 12.3. Emniyet/Güvenlik	Yangın emniyeti • Yerel Yönetmelikler'de bulunduğu yere veya ilave bilgi notlarında tanımlanan noktalara göre yangın emniyeti ikazı oluşturulmalı. • Ön proje kesin hesabı ve tasarım kesin hesabı: Yangın Emniyeti İkazı.

Binanın Çevresel Performansı ile İlgili Amaçlar	İlave bilgi Amaç 12 Emniyet ikazı ile ilgili olabilecek maddeler	Bina kullanıcılarının hızlı ve emniyetli tahliyesi (alarmlar, tahliye planları, kolayca hareket edilebilen sayı ve genişlik olarak belirtilmiş koridorlar, güvenlik aydınlatması, yangın dayanımı, duman atımı); tehlikeli durumların yayılmasının sınırlandırılması. Acil durum müdahalesi için önlemler (acil durum araçlarına uygun yollar, erişilebilir cepheler, duman atımı, yangın söndürücüler, algılama ekipmanı, güvenlik servisleri, uyarılar).

3.7. GREEN STAR

Bu sertifikasyon sisteminde kullanılan kılavuzlardan "Green Star Communities v1 Submission" kılavuzunda "Adaptasyon ve Dirençlilik" başlığının "Uyum gereklilikleri 4.1 İklim adaptasyonu" alt başlığında risk tanımlaması içerisinde itfaiyeye yakınlığa yer verilmiştir. "Green Star Performance Submission Guideline" adıyla geçen kılavuzda yangından korunma hakkında **Tablo 11**'de geçen verilere ulaşılmıştır.

Tablo 11: "Performance Submission Guideline" adlı kılavuzda yer alan yangından korunma içeriği

Başlık	Alt başlık	Açıklamalar
Krediler listesi	Su	Yangından korunma test suyu.
Rehberlik	Atanmış Bina Sistemleri	• Yangın algılama sistemleri, duman alarm sistemleri ve acil durum ikaz sistemleri; • Pompa ve diğer ekipmanı içeren yangından korunma sistemleri.
4.2 İşletmeye alma, yeniden işletmeye alma (recommissioning), geriye dönük işletmeye alma (retro-commissioning)	Tanımlar	•Pompa ve diğer ekipmanı içeren yangından korunma sistemleri.
Yangından Korunma Sistemi Test Suyu	Uygunluk gereksinimleri	Green Star sertifikası almak istenilen bina sulu yangından korunma sistemlerine sahip değildir; bu kredideki kriterlerin uygulanması (Not Applicable) talep edilmeyebilir.
Yangından Korunma Sistemi Test Suyu	20.1 Test rejimi	Tesiste yer alan tüm su bazlı yangından korunma sistemleri ilgili gereksinimlere göre aylık test rejimine tabi tutulduğunda 1 puan ile ödüllendirilir.
Yangından Korunma Sistemi Test Suyu	20.1.1 Kabul edilen standartlar	Aylık yangın sistemi test rejimi performans periyodu boyunca aşağıdaki standartlardan birisi ile aynı eksende olmalıdır.
Yangından Korunma Sistemi Test Suyu	20.1.2 Test rejimi	20.1.2.1 Haftalık test yapmak yerine AS 1851-2012 (veya AS 1851-2005) standardına göre aylık test yapmak için uygulanacak adımların özeti çıkarılmalıdır. Kılavuzda belirtilen koşullar sağlanmalıdır.
20.2 Test İçin İçilebilir Su Kullanımı		Yangından korunma sistemlerinin test ve bakımı boyunca içme suyunun harcanmaması durumunda 1 puan ile ödüllendirilir; yani test suyu atılmaz veya atılan test suyu yeniden kullanılır.
20.2 Test İçin İçilebilir Su Kullanımı	20.2.1 Test için su harcamayan sistemler	Bu sistemler yangın sistemlerinin test ve bakımı için hiç su harcamaz. Tipik olarak bu sistemler "kapalı devre" dir.

20.2 Test İçin İçilebilir Su Kullanımı	Yangın sistemi test suyunun yeniden kullanımı	Bu sistemler yangın sistemleri test ve bakımında kullanılan tüm suyu tutar ve diğer amaçlar için yeniden kullanır. Yangın sistemleri test ve bakım suyu hareketli veya sabit rezervuarlarda tutulmalıdır. Elde edilen su bina veya şantiye içinde tuvalet temizliği veya sulama sistemlerinde kullanılmalıdır.
Yönergeler	Yangından korunma sistemleri test rejimi (20.1) Test sorumluluğu	Mal sahibi/kiracı ilişkisinin bulunduğu (ofis binaları gibi ve mal sahipleri tarafından kullanılan (okul ve üniversite tesisleri gibi)) yerlerde, yangından korunma sistemleri tipik olarak mal sahibi veya bina işletmecisi tarafından sağlanır ve bakımı yapılır.
Standartlar ve Yönergeler	Referans dokümanlar	Bu kredide aşağıdaki dokümanlar referans alınır: AS 1851-2012 Yangından Korunma Sistemleri ve Ekipmanlarının Bakımı (Maintenance of Fire Protection Systems and Equipment). AS 1851-2005 (incorporating Amendment 2 May 2008) (birleştirilmiş düzeltme 2 May 2008) Yangından Korunma Sistemleri ve Ekipmanlarının Bakımı (Maintenance of Fire Protection Systems and Equipment). AS 2118.1-2006 Otomatik Yangın Yağmurlama Sistemleri, Genel Sistemler (Automatic Fire Sprinkler Systems, General Systems). AS 2941-2002 Sabit Yangından Korunma Tesisatları, Pompa Seti Sistemleri (Fixed fire protection installations, pump set systems).
Belgeleme Gereksinimleri	Ön Sertifikalandırma Sunum şablonu	Sunum şablonunu tamamlama. 20. Yangından Korunma Test Suyu.
Belgeleme Gereksinimleri	Ön Sertifikalandırma Destekleyici dokümanlar	Eğer bu kredi binadaki su bazlı olmayan yangın sistemlerinden ötürü "uygulanmaz" (Not Applicable) olarak talep ediliyorsa, proje takımı sadece tamamlanmış sunum şablonunu sunabilir. Uygunluğu göstermek için gerekli olması halinde destekleyici dokümanlar sağlanmalıdır. Bu dokümanlar şunları içerir: 20.1 Test rejimi. 20.2 Test için içilebilir su kullanımı.
Belgeleme Gereksinimleri	Yeniden sertifikalandırma Sunum şablonu	Sunum şablonunu tamamlama. 20. Yangından Korunma Test Suyu.

4. SONUÇLAR

Yangından korunma bazı yeşil bina sertifika sistemlerinde açık bir unsur olarak puana dahil edilirken bazı sistemlerde değerlendirme ölçütlerine destekleyici unsurlar olarak belirtilmiştir. Sistemlerin yangından korunma açısından güçlü yönleri olduğu kadar zayıf yönleri de bulunmaktadır. DGNB, Green Star gibi yangından korunmaya daha ayrıntılı yer veren sistemlerin yanında bölgesel yönetmeliklere uygunluğu yeterli kabul eden sistemler de bulunmaktadır.

DGNB sertifika sisteminde yaşam döngüsü içinde yangın söndürme sistemlerine yer vermesi, korozyon korumayla birlikte yangından korunma kaplamalarının çevresel etkilerinin

değerlendirilmesi, yangın söndürme, sprinkler sistemleri, su hatları, hidrantlar ve söndürme cihazlarının varlığının incelenmesi, yangın alarm sistemlerinin incelenmesi, yangın kaçışı için yeterli miktarda düşey sirkülasyon aracına yer verildiğinin kontrolü, halojen içeren maddelerin zararlı etkilerine karşı etkin havalandırma olanaklarının incelenmesi, kaçış yollarının fiziksel engelliler de düşünülerek oluşturulmasının sağlanması, kirlenmiş hava için işletme talimatı oluşturulması, yapı elemanları için dayanım sınıflandırılması oluşturulması, yapı ürünlerinin sınıflandırılması, duman kontrolü sağlanması, uzun kuraklık nedeniyle oluşabilecek orman yangını risklerinin araştırılması gibi yangından korunma hakkında içeriklere sahiptir.

BREEAM sertifika sisteminde itfaiye istasyonuna yakınlık, tahliye planlaması ve tatbikatların varlığı, belirli aralıklarla durum izlemesi ve alarm sistemlerinin operasyonlarının izlenmesi, yangın risk değerlendirmesi sorgulaması, acil durum planı, sıvı dökülmesine karşı uygun malzeme seçimine dikkat edilmesi olumlu özellikler olarak karşımıza çıkmaktadır.

LEED sertifika sisteminde yangın tehlikesi oluşturmayan peyzaj elemanlarının korunması, yangın yönetimini de içeren 5-7 yıllık alan yönetimi planı oluşturulması, atıkların korunumlu alanlara bırakılmasının engellenmesi, yangın pompası test suyu kullanımının azaltılması, yangın pompası test suyunun soğutma kulesinde kullanılması, yangından korunma sistemlerinin işletmeye alınması ve test edilmesi gerekliliği, minimum enerji harcaması ve düşük yayıcılığa sahip malzemeler kullanılmasına yer verilmiştir.

SBtool içerisinde alan seçiminde risk belirlenmesi, acil durum planları ve bölgesel yönetmeliklere uygunluk açısından yangından korunma puanlamaya dahil edilmiştir.

CASBEE sertifika sisteminde, açık olarak puana dahil olan bir unsur olmamakla beraber yağmurlama sistemi ve duman dedektörlerinin kullanımı, güvenlik ve emniyet açısından acil durum planlarının oluşturulması olumlu özellikler olarak karşımıza çıkmaktadır.

HQE açısından yerel yönetmeliğe göre yangın notu oluşturulması, konutların duman dedektörü ile donatılması, binanın çevresel performansını artırmak amacıyla yangının oluşturacağı rahatsızlıkların önlenmesi için plan yapılması, konutlardan hızlı ve emniyetli kaçışlar (alarmlar, tahliye planı, yeterli sayı ve genişlikte kaçış koridorları, acil durum aydınlatması, yangın dayanımı, dumandan arındırma), yayılmasının sınırlandırılması (riskli yapılarla mesafe, riskli alanların izolasyonu, iç bölümlere ayırma, malzemenin yangına tepkisi), acil durum ekiplerinin müdahale imkanları (yolların uzunluğu, genişliği, erişilebilir cephelerin varlığı, yangın söndürücüler, algılama, alarm), yüzey bitirmelerinin yangın riskleri açısından binaya uyumu, yangınla mücadelede kullanım bakımından su tüketimi içeriklerine yer verilmiştir.

Green Star sertifika sisteminde itfaiye istasyonun yakınlığın aranması, yangın algılama ve duman alarm sistemlerinin varlığı (pompa ve diğer ekipmanlarla birlikte), proje alanı içinde içten yanmalı motorlu araç park alanlarının varlığının incelenmesi, bina içi kirleticiler, yangın geciktirici ve dolgu malzemelerinin kullanımı, yangın sistemi test suyunun sağlanma imkanı, yağmurlama sistemi varlığı, su deposu ve yeniden kullanım sistemlerine ait çizimlerin aranması, yangın bastırma sistemlerinde yağmurlama sistemi bulunmadığına dair itfaiye raporu, yangından korunma sistemlerinin varlığı, su bazlı yangından korunma sistemlerinin varlığı, su bazlı korunma sisteminin bulunması halinde aylık düzenli teste tabi tutulma durumu, söndürme sistemlerinde kullanılan test ve bakım suyunun kapalı-devre sistem şeklinde kullanım olanakları,

bu suların tuvalet temizliği veya sulama amaçlı kullanım olanaklarının varlığı, yapı sahibi tarafından yangından korunma sistemlerinin sağlanma ve devam ettirilme durumu ve bunların bakımlarının sağlanmasına yer verilmiştir.

Sonuç olarak, dünyada yaygın kullanılan yeşil bina sertifikasyon sistemlerinde "yangın emniyeti" konusu belirli ağırlıklarla yer almaktadır. Yayınlandığı ülkelerin konuya verdikleri önemle orantılı olarak içerik ve nicelikleri birbirinden farklılıklar göstermektedir. Ülkemizde de yeşil bina tasarımıyla ilgili yapılacak tüm yasal yaptırımlar içinde bina tasarımını direkt ilgilendiren "yangın emniyeti" konusunda kriterler mutlaka düzenlenmelidir.

KAYNAKLAR

1. Altıntaş H., Urul A., "Küreselleşme Sürecinde Çevresel Problemlere Literatür Işığında Bir Bakış", Mevzuat Dergisi, (2009), s.13-15.

2. Sırkıntı, H., "Sürdürülebilirlik Kapsamında Yeşil Yapım Uygulamaları ve LEED Sertifika Sistemine Öneriler", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2012).

3. Metin, B. ve Tavil, A., "Bina Yapım Sürecinin Çevresel Etkilerinin Yapı Elemanları Ölçeğinde Değerlendirilmesi: Dış Duvar Sistemi Örneği", 1. Uluslararası Lisansüstü Araştırmaları Sempozyumu; Yapılı Çevre, ODTÜ, Ankara, Türkiye, (2010).

4. Bekem, İ., Gültekin, A. B., Dikmen, Ç. B., "Yapılarda Sürdürülebilirlik Ölçütleri Kapsamında Yangın Olaylarının İncelenmesi, 2. Uluslararası Sürdürülebilir Binalar Sempozyumu, Gazi Üniversitesi, Ankara, (2015).

5. Ovalı, P. K., "Türkiye İklim Bölgeleri Bağlamında Ekolojik Tasarım Ölçütleri Sistematiğinin Oluşturulması– Kayaköy Yerleşmesinde Örneklenmesi", Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, (2009).

6. Sur, H., "Çevre Dostu Yeşil Binalar, Yeşil Binalar Referans Rehberi 2012", İstanbul, (2012).

7. Bulut, B., Gültekin, A. B., "Yeşil Bina Sertifika Sistemleri: Türkiye için Bir Sistem Önerisi", 2. Uluslararası Sürdürülebilir Binalar Sempozyumu, Gazi Üniversitesi, Ankara, (2015).

8. Bulut, B.,2014, "Yeşil Bina Sertifika Sistemleri: Türkiye için Bir Sistem Önerisi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2014).

9. DGNB Technical Manual, Dgnb Criterion Tec 1.1 Fire Safety (2014).

10. BREEAM International_New Construction Technical Manual (2014).

11. BREEAM In-Use International Technical Manual (2015).

12. LEED Reference Guide for Building Design and Construction (2016).

13. LEED Reference Guide for Building Operation and Maintenance (2016).

14. SBtool User Guide (2012).

15. CASBEE Urban Development Technical Manual (2014).

16. CASBEE New Construction Technical Manual (2014).

17. HQE Non-residential Buildings- Additional Notes- PG Sustainable Use (2014).

18. HQE Buildings Under Const. - Scheme Technical Manual- Residential Technical Guidance (2015).

19. Green Star Communities v1 Submission (2015).

20. Green Star Performance Submission Guideline (2015).

3.Ulusal
Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi

10-11 Mayıs 2018
İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul

KONUTLARDA ISITMA ENERJİSİ MALİYETİNİN DAİRELER ARASINDA DENGELİ DAĞILIMI AÇISINDAN FAZ DEĞİŞTİREN MALZEMELERİN UYGULANDIĞI BİNA KABUĞU PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Araş. Gör. Eda Köse[a]
Doç. Dr. Gülten Manioğlu[b]
İTÜ Mimarlık Fakültesi
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

ÖZET

Türkiye'de toplam enerji tüketiminin önemli bir kısmı konutlarda ısıtma için kullanılmaktadır. Isıtma enerjisi tüketimini azaltmak ve dengeli bir maliyet dağılımı gerçekleştirmek için çeşitli uygulamalar yönetmeliklerle zorunlu hale getirilmiştir. Zorunlu uygulamalardan biri olan ısı pay ölçer sistemi, 2 Mayıs 2012 tarihinden itibaren konutlarda uygulanmaktadır. Isı pay ölçer uygulamaları ile hacimlerde farklı iç hava sıcaklıkları oluştuğundan iç duvarlar ve iç döşemelerde ısı geçişi gerçekleşir. Isı geçişini azaltan ve gizli ısı depolama (LHS) sistemi olan düşük ısıl iletkenliğe sahip faz değiştiren malzemelerin, hacme ait çatı, dış duvar, zemine oturan döşeme, iç duvar ve iç döşeme katmanlarında uygulanmasıyla iç hava sıcaklığındaki dalgalanmayı azaltarak dengeli bir ısıtma enerjisi maliyeti oluşturması olanaklıdır **[1] [2]**. *Bu çalışmada, faz değiştiren malzemelerin(FDM); çatı, dış duvar, zemine oturan döşeme, iç duvar ve iç döşeme katmanlarına uygulanması modelleme ve simülasyon ile değerlendirilmiştir.*

Anahtar kelimeler: Faz değiştiren malzemeler (FDM), Isı pay ölçer sistemi, Isıtma enerjisi tasarrufu, Bina kabuğu, Hacim organizasyonu.

ABSTRACT

A significant part of the total energy consumed in Turkey is used to heat residential buildings. Various measures have been made mandatory by regulation to reduce energy consumption for heating purposes and achieve a balanced cost distribution. The heat cost allocator system, one of the mandatory measures has been implemented in residential buildings since May 2, 2012. Since different indoor temperatures are observed in zones in buildings when heat cost allocator is used, heat is transferred through inner walls and inner floors. Phase change materials which reduces heat transfer with the latent heat storage (LHS) system and with their low thermal conductivity can possibly reduce the fluctuations of the indoor air temperature of the zones and create a balanced heating energy cost **[1][2]**. *In this study, application of phase change materials (PCM) on roof, external walls, ground floor, inner walls and inner floors of a zone was evaluated using modeling and simulation.*

Keywords: Phase change materials (PCM), Heat cost allocators, Heating energy saving, Envelope, Zone organization.

[a] e-posta adresi: koseed17@itu.edu.tr
[b] e-posta adresi: manioglugu@itu.edu.tr

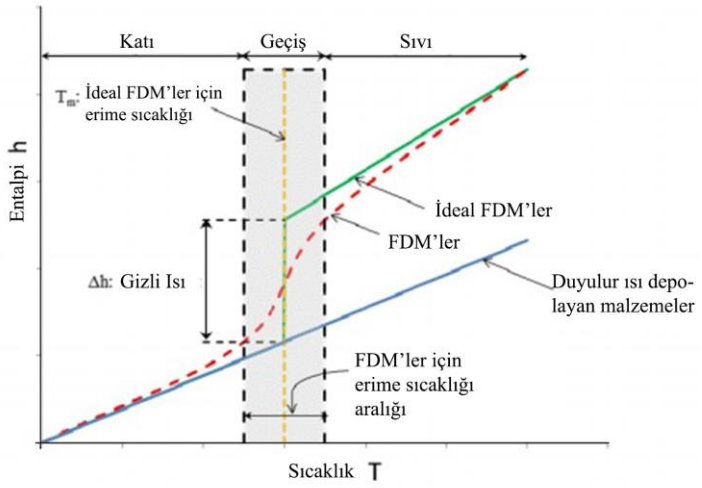
1. GİRİŞ

Binalarda tüketilen enerjinin yüzde 82'si ısıtma için kullanılmaktadır. Bu nedenle, enerji kaynakları açısından dış ülkelere bağımlı olduğumuz da düşünülürse, binalarda ısıtma enerjisi harcamalarının azaltılması bir zorunluluk haline gelmektedir. Binalarda ısıtma enerjisi harcamalarının azaltılması öncelikle binalarda ısıtma enerjisi yüklerini etkileyen değişkenlere ilişkin doğru kararlar alınmasıyla olanaklıdır **[3].** Isıl konforu ve enerji harcamalarını doğrudan etkileyen en önemli parametre bina kabuğudur.Ülkemizde uygulanmaya başlanan ısı pay ölçer uygulaması kullanıcıların harcadıkları ısıtma enerjisi miktarına bağlı olarak ödeme yapmalarını hedeflemektedir. Ancak birbirlerine göre konumlarındaki farklılıklar nedeniyle tüketilen enerji miktarları farklılık göstermektedir. Bunun sonucunda farklı iç sıcaklıkların oluştuğu daireler arasında ısı geçişlerinin gerçekleştiği ve ısıtma enerjisi harcamalarına ilişkin ödemelerde dengesizlikler oluştuğu görülmektedir **[4].** Binalarda ısıtma enerjisi harcamalarının azaltılmasında Faz Değiştiren Malzemelerin(FDM) ısıl enerji depolama özelliklerinden yararlanılmaktadır. Gizli ısı, maddenin faz değişimi sırasında çevreden aldığı veya verdiği ısıdır. FDM'ler ısıl enerjiyi gizli ısı şeklinde depolayan malzemelerdir **[5].**
FDM uygulandıkları yapı bileşeninde ısının korunmasını sağlayan saklama alanı görevi görürler. Binalarda yüksek enerji depolama yoğunluğu sağlama kabiliyetleri nedeniyle uygulanırlar. Bu çalışmada FDM'lerin çatı, dış duvar, zemine oturan döşeme, iç duvar ve iç döşemeye uygulanması sonucu oluşan ısıtma enerjileri bir simülasyon programı yardımıyla hesaplanıp, dairelerin bulundukları farklı konumlara göre analiz edilmiştir.

2. FAZ DEĞİŞTİREN MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ

Isı depolama sistemleri geleneksel mimaride sıklıkla karşımıza "ısıl kütle" kavramı ile birlikte çıkmaktadır. Isıl kütle gün boyunca ısıyı emer, bünyesinde depolar, dış iklim elemanlarının etkilerini geciktirerek ve genliklerini küçülterek iç mekâna aktarır ve böylece iç mekânda oluşabilecek aşırı ısınmayı engeller **[2].** Zaman geciktirme ve genlik küçültme faktörü yapı bileşeninin ısı depolama ve yalıtım kapasitesini ifade eder. FDM, ısıl kütlenin çağdaş versiyonu olarak tanımlanabilmektedir. FDM'ler iklim tiplerine göre farklı performans gösterirler **[3].** FDM'lerin gündüz ve gece depolayıp ortama saldıkları ısıl enerjiyle, yalnız kış dönemi ısıtma enerjisi tüketimine değil, yaz dönemlerinde de soğutma enerjisi tüketimine azaltıcı bir etkisi olduğu bilinmektedir **[6].** Yapılan çalışmalar neticesinde FDM'lerin en iyi sonuçları, gece gündüz sıcaklık farklarının daha yüksek olduğu yerlerde verdiği görülmektedir. Sıcak iklim bölgelerinde gece depolamış olduğu ısı sayesinde gündüz iç hava sıcaklığını optimize edebilmektedir. Soğuk iklim bölgelerinde ise iç ortam sıcaklığının soğumasını engelleyecek prensipte çalışmaktadır. Bu sayede sıcak iklim bölgelerinde soğutma ihtiyacını azaltır. Soğuk iklim bölgelerinde ise ısıtma için harcanacak enerjiyi azaltma eğilimindedir **[5][7].**

Isıl enerji depolama yöntemleri duyulur ısı ve gizli ısı şeklinde ele alınmaktadır. *Duyulur ısı;* enerjinin; katı ya da sıvı haldeki bir maddenin ısı depolama kapasitesinden yararlanılarak depolanmasıdır. Isı depolama maddesinin sıcaklığı arttırılarak enerji duyulur şekilde depolanır. Duyulur ısı depolama süresince ortamın sıcaklığı değişir. *Gizli ısı;* maddenin faz değişimi sırasında çevreden aldığı veya verdiği ısıdır. Gizli ısı depolama yöntemleri için gerekli depo hacmi, duyulur ısıya göre daha küçüktür. Duyulur ısı ve gizli ısı arasındaki ilişki Şekil 1 de görülmektedir **[3][8].**



Şekil 1: Duyulur ısı- Gizli ısı ilişkisi

Duyulur ısı depolayan bazı maddelerin FDM'nin birim ünite başına enerji depolama kapasitelerinin karşılaştırılması Şekil 1'de gösterilmiştir **[9].**

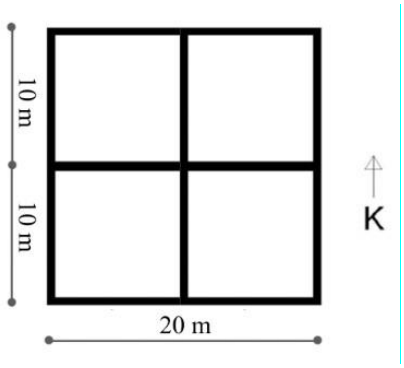
FDM'lerin birim kütlesi veya birim hacmi başına ısı depolama kapasitesi duyulur ısı depolama maddelerine kıyasla daha yüksektir. Enerji depolama süresince FDM'nin sıcaklığı hemen hemen sabit kaldığından sabit sıcaklıkta enerji depolama ve geri kazanım uygulamaları için oldukça uygundur. FDM'lerin bir diğer termo-fiziksel özelliği erime ve katılaşma sıcaklığıdır **[5][10].**
Erime sıcaklığı; malzemenin katı fazdan sıvı faza geçmesini sağlayan sıcaklık değeridir. FDM'ler için en uygun erime sıcaklığı iç ortam sıcaklığına en yakın sıcaklık değeridir.
Katılaşma sıcaklığı ise; malzemenin sıvı fazdan katı faza geçmesini sağlayan sıcaklık değeridir. Yapılan uygulamalarda binalar için en uygun FDM'nin katılaşma sıcaklığı iç ortam sıcaklığına en yakın olan malzeme olduğu görülmektedir **[4][11].**

3. KONUTLARDA ISITMA ENERJİSİ MALİYETİNİN DAİRELER ARASINDA DENGELİ DAĞILIMI AÇISINDAN FAZ DEĞİŞTİREN MALZEMELERİN UYGULANDIĞI BİNA KABUĞUNUN PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada; ısıtma enerjisi harcamalarının azaltılması ve dengelenmesinde uygulanabilecek bazı kabuk seçenekleri geliştirilmiştir. Bu seçenekler İstanbul'da bir konut üzerinde, Design Builder adlı program kullanılarak değerlendirilmiştir. Design Builder, simülasyon motoru olarak bütünleşik bir simülasyon programı olan Energy Plus programını kullanan, kullanıcı kolaylığı için geliştirilmiş görsel bir ara yüz programıdır.

3.1. Binaya Ait Değişkenlerin Belirlenmesi

FDM uygulanan bina kabuklarının ısıtma enerjisi verimliliği açısından değerlendirilmesi; İstanbul'da düz bir arazide yer alan 20x20 metrelik taban alanına sahip, bir katta 4 daire olmak üzere 12 daireden oluşan 3 katlı kare planlı, düz çatılı bir binada gerçekleştirilmiştir. Binanın, her cephesi için, (kuzey, doğu, güney ve batı) saydamlık oranı % 45 olarak kabul edilmiştir. Değerlendirmenin gerçekleştirildiği hacimler Şekil 2 'de gösterilmiştir.



Şekil 2: Değerlendirme çalışmasında ele alınan 20m x 20m bina

Hacimler bulundukları katlara göre; KD-1, KB-1, GD-1, GB-1, KD-2, KB-2, GD-2, GB-2, KD-3, KB-3, GD-3, GB-3 şeklinde isimlendirilmişlerdir. FDM uygulanan bina kabuğunun performansının değerlendirilebilmesi için bina kabuğu seçenekleri;

- FDM uygulanmayan seçenek (A1)
- FDM uygulanan seçenekler (A2, A3, A4, A5) şeklinde geliştirilmiştir.

FDM uygulanan seçenekler FDM'in uygulama yerine göre aşağıda açıklanmıştır.

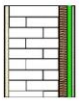
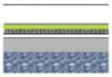
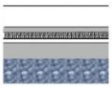
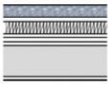
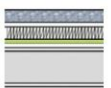
- A2. Dış Duvar, Zemine Oturan Döşeme ve Çatıya FDM uygulaması
- A3. İç Duvar, Dış Duvar, Zemine Oturan Döşeme ve Çatıya FDM uygulaması
- A4. Dış Duvar, Zemine Oturan Döşeme, İç Döşeme ve Çatıya FDM uygulaması
- A5. İç Duvar, Dış Duvar, Zemine Oturan Döşeme, İç Döşeme ve Çatıya FDM uygulaması

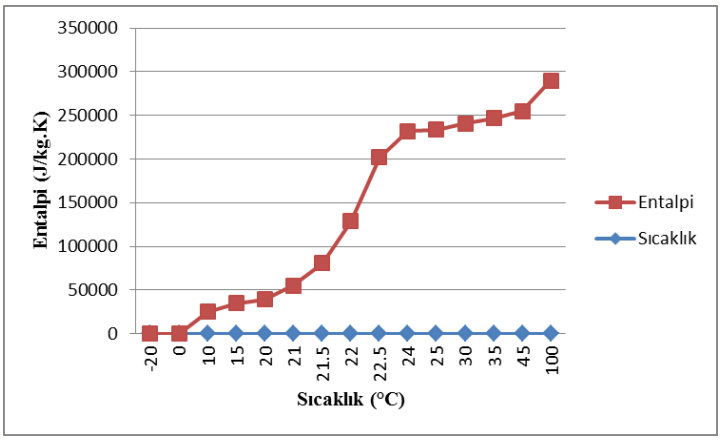
3.2. Ele Alınan Bina için Faz Değiştiren Malzeme Uygulamaları

FDM'in yeri ve kalınlığına göre binaya ait FDM uygulamaları 2 aşamada gerçekleştirilmiştir;
İlk aşamada; daha önce yapılmış çalışmalardan **[12]** elde edilen sonuçlar doğrultusunda, optimum FDM kalınlığı olarak her yapı bileşeninde 3 cm FDM kullanılarak hacimlere ait ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri hesaplanmıştır. İkinci aşamada ise; ilk aşamada hesaplanmış olan ısıtma yükleri dağılımı incelenerek, hacimlerin hangi bileşenin etkisinde ısı kazandıkları veya kaybettikleri değerlendirilmiş ve hacimler arası dengeli enerji tüketimi dağılımının sağlanması amacıyla o bileşenlerde FDM kalınlıkları artırılmış ve azaltılmıştır. İlk aşama hesaplamalarında ele alınan bina için oluşturulan bina kabuğu katmanlaşma detayları çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çalışmada tüm hesaplamalarda saydam bileşenin toplam ısı geçirme katsayısı U= 1,96 W/m²K olarak kabul edilmiştir. İstanbul ili (ılımlı-nemli iklim bölgesi) TS-825 'Binalarda Isı Yalıtım Kuralları' standardına göre 2. Bölge Derece Gün İlleri arasında yer almaktadır. Standartta 2. bölge için tavsiye edilen maksimum toplam ısı geçirme katsayısı değerleri; U_{duvar} = 0,60 W/m²K, U_{tavan} = 0,40 W/m²K ve $U_{döşeme}$ = 0,60 W/m²K olarak belirlenmiştir. Modellerde bu sınır değerlere uygun olarak oluşturulan bina kabuğu detaylarına ek olarak 3 cm FDM eklenmiştir. Hesaplamalarda, Design Builder simülasyon programının malzeme kütüphanesinde bulunan FDM/M1/Q21 isimli FDM malzemesi kullanılmıştır. Kullanılan malzemenin Sıcaklık-Entalpi ilişkisi Şekil 3'de gösterilmektedir **[13]**.

Çizelge 1: Bina kabuğuna ait katmanlaşma detayları

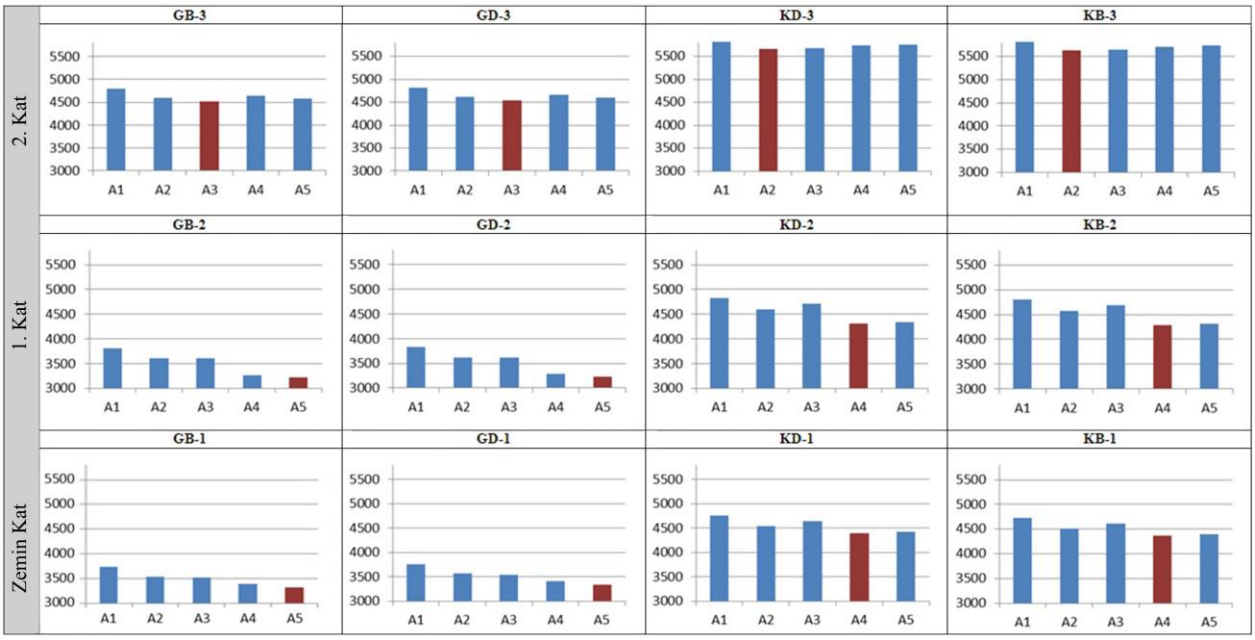
				d(m)	İletkenlik(W/mK)	Yoğunluk(kg/m3)	Özgül ısı (J/kg-K)	U(W/m²K)
FDM Uygulanmayan	İç Duvar		Alçı sıva	0.01	0.4	1000	1000	2.22
			Tuğla	0.1	0.72	1920	840	
			Alçı sıva	0.01	0.4	1000	1000	
FDM Uygulanan	İç Duvar		Alçı sıva	0.01	0.4	1000	1000	1.67
			FDM/ M51/Q21	0.03	0.2	235 / J/kg-K 1970	1970	
			Tuğla	0.24	0.72	1920	840	
			Alçı sıva	0.01	0.4	1000	1000	
FDM Uygulanmayan	Dış Duvar		Alçı sıva	0.02	0.72	1860	840	0.57
			XPS Ekstrüzyon Polistren	0.04	0.034	35	1400	
			Tuğla	0.24	0.72	1920	840	
			Alçı sıva	0.01	0.4	1000	1000	
FDM Uygulanan	Dış Duvar		Alçı sıva	0.02	0.72	1860	840	0.53
			FDM/ M51/Q21	0.03	0.2	235/J/kg-K1970	1970	
			XPS Ekstrüzyon Polistren	0.04	0.034	35	1400	
			Tuğla	0.24	0.72	1920	840	
			Alçı sıva	0.01	0.4	1000	1000	
FDM Uygulanmayan	Zemine O. Döşeme		Çakıl Taşı	0.15	0.36	1840	840	0.5
			Beton	0.1	1.4	2100	1000	
			Bitüm / Keçe Tabakaları	0.006	0.5	1700	1000	
			XPS Ekstrüzyon Polistren	0.04	0.034	35	1400	
			Alçı sıva	0.03	1.13	2000	1000	
			Ahşap Kaplama	0.14	0.14	650	1200	
FDM Uygulanan	Zemine Oturan Döşeme		Çakıl Taşı	0.15	0.36	1840	840	0.48
			Beton	0.1	1.4	2100	1000	
			Bitüm / Keçe Tabakaları	0.006	0.5	1700	1000	
			FDM/ M51/Q21	0.03	235	235 / J/kg-K 1970	1970	
			XPS Ekstrüzyon Polistren	0.04	0.034	35	1400	
			Alçı sıva	0.03	1.13	2000	1000	
			Ahşap Kaplama	0.14	0.14	650	1200	
FDM Uygulanmayan	İç Döşeme		Alçı sıva	0.01	0.4	1000	1000	2.38
			Beton	0.1	1.13	2000	1000	
			Alçı sıva	0.01	0.4	1000	1000	
FDM Uygulanan	İç Döşeme		Alçı sıva	0.01	0.4	1000	1000	2.18
			FDM/ M51/Q21	0.03	235	235 / J/kg-K 1970	1970	
			Beton	0.1	1.13	2000	1000	
			FDM/ M51/Q21	0.03	235	235 / J/kg-K 1970	1970	
			Alçı sıva	0.01	0.4	1000	1000	
FDM Uygulanmayan	Çatı		Agrega-kum-çakıl	0.06	1.3	2240	920	0.4
			Mastik asfalt	0.002	0.19	950	1260	
			XPS Ekstrüzyon Polistren	0.06	0.034	35	1400	
			Bitüm / Keçe Tabakaları	0.003	0.5	1700	1000	
			Polietilen	0.003	0.33	920	2200	
			Beton	0.15	1.13	2000	1000	
			Alçı sıva	0.02	0.4	1000	1000	
FDM Uygulanan	Çatı		Agrega-kum-çakıl	0.06	1.3	2240	920	0.37
			Mastik asfalt	0.002	0.19	950	1260	
			XPS Ekstrüzyon Polistren	0.06	0.034	35	1400	
			FDM/ M51/Q21	0.03	235	235 / J/kg-K1970	1970	
			Bitüm / Keçe Tabakaları	0.003	0.5	1700	1000	
			Polietilen	0.003	0.33	920	2200	
			Beton	0.15	1.13	2000	1000	
			Alçı sıva	0.02	0.4	1000	1000	



Şekil 3: FDM/M1/Q21'nin Sıcaklık-Entalpi İlişkisi

3.2.1. Ele Alınan Hacimler için Oluşturulan Bina Kabuğu Seçenekleri ile Isıtma Yüklerinin Hesaplanması

Hesaplamalarda iç hava sıcaklığı konfor değeri; ısıtma için 21°C, ısıtmanın devreye girmesi için kabul edilen alt sınır değer 19 °C, soğutma için 26 °C, soğutmanın devreye girmesi için kabul edilen üst sınır değer ise 28 °C olarak kabul edilmiştir.
Hesaplamalarda ilk adım olarak hiçbir yapı bileşeninde FDM kullanılmamıştır. FDM'nin uygulandığı diğer seçeneklerde (A2, A3, A4, A5) ise tüm dış duvarlarda, iç duvarlarda, iç döşemelerde, zemine oturan döşemede ve çatıda olmak üzere 3 cm kalınlığında FDM kullanılmıştır. A1, A2, A3, A4 ve A5 alternatifleri esas alınarak, binanın her bir hacmi için hesaplanan ısıtma enerjisi harcamaları Şekil 4'de gösterilmiştir. Her hacimde en düşük harcamanın gerçekleştiği alternatif vurgulanmıştır.



Şekil 4: Ele alınan binada farklı hacimlerde gerçekleşen ısıtma enerjisi harcamaları (kWh)

Isıtma enerjisi harcamaları değerlendirildiğinde;
Tüm hacimlerde ısıtma enerjisi harcamalarına bakıldığında; tüm binada zemin katın ve 1. katın güney cephesindeki hacimlerde (GB-1, GD-1, GB-2, GD-2) daha düşük olduğu gözlenmiştir.
Isıtma enerjisi harcamalarının en düşük olduğu hacim A5 seçeneği ile GB-2 hacmidir. Isı kaybının en fazla olduğu 2. Kat için; güney cephesinde yer alan GB-3, GD-3 hacimleri için en iyi seçenek A3 iken, 2. Katın kuzey cephesinde yer alan KB-3, KD-3 hacimleri için ise A2'dir.
En düşük ısıtma enerjisi harcamasının gerçekleştiği GB-2 hacmi etkileşimde bulunduğu hacimler (GB-1, GB-3, GD-2, KB-2) ile karşılaştırıldığında; FDM uygulamasında GB-2'ye göre; GD-2 % 0.39, GB-1 % 3.27, GB-3 % 42.62 ve KB-2 % 34.3 daha fazla enerji harcamaktadır.
En yüksek ısıtma enerjisi harcamasının gerçekleştiği KD-3 hacmi etkileşimde bulunduğu hacimler (GB-3, KD-2, KB-3) ile karşılaştırıldığında; FDM uygulamasında KD-3'e göre; GB-3 %18.87, KD-2 %18.82, KB-3 %0.43 daha düşük enerji harcamaktadır.

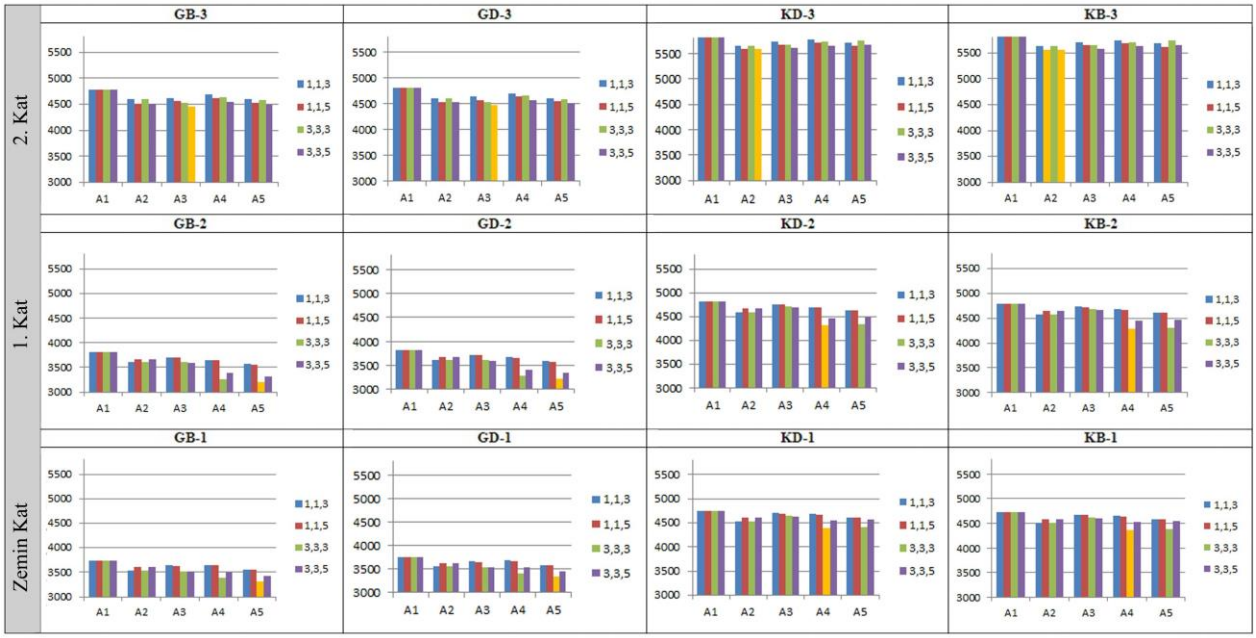
Yapılan hesaplamalar sonucu, çatı, dış duvar ve zemin kat döşemesinde uygulanmış olan 3 cm FDM'nin daireler arası enerji harcamalarında bir denge sağlayamadığı görülmektedir. En çok ısı kaybının çatı bileşeninde gerçekleştiği ve çatı hacimlerinde dengeli bir ısıtma enerjisi harcamasının sağlanabilmesi için de iç duvar ve iç döşemelerde FDM kalınlıklarının çatı hacimlerinde enerji harcamalarının azaltılmasını sağlayacak şekilde değişiklikler yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

3.2.2. Çatı, İç Döşeme ve İç Duvar Katmanlarında FDM Kalınlıklarının Değiştirilmesi ve Hesaplamaların Tekrarlanması

Bina içerisinde hacimler arasındaki yatay ve düşey yönlü ısı kayıplarını dengeleyebilmek için simülasyonun ikinci aşamasında çatı, iç duvar ve iç döşemeye uygulanan farklı FDM kalınlıklarıyla seçenekler oluşturulmuştur. Bu seçenekler oluşturulurken dış duvar ve zemine oturan döşemeye uygulanan FDM kalınlığı ilk aşama ile aynı olup 3 cm olarak kabul edilmiştir.
Seçenekler oluşturulurken; hacimlerdeki ısı kayıplarının dengeli olabilmesi için, iç duvar ve döşemelerde FDM kalınlığı önce azaltılmış, daha sonra da ısı kaybı yüksek olan hacimlerde enerji harcamalarının azaltılmasını sağlayacak şekilde çatı katmanındaki FDM kalınlığı artırılmıştır. Bunun sonucunda FDM'in uygulanma yeri ve kalınlığına göre aşağıdaki seçenekler oluşturulmuştur:

1-1-5: İç duvar 1 cm, İç döşeme 1 cm, Çatıya 5 cm FDM uygulaması,
1-1-3: İç duvar 1 cm, İç döşeme 1 cm, Çatıya 3 cm FDM uygulaması,
3-3-3: İç duvar, İç döşeme, Çatıya 3 cm FDM uygulaması,
3-3-5: İç duvar 3 cm, İç döşeme 3 cm, Çatıya 5 cm FDM uygulaması,

A1, A2, A3, A4 ve A5 alternatifleri esas alınarak, binanın her bir hacmi için tekrar edilen hesaplamalar sonucunda elde edilen ısıtma enerjisi harcamaları Şekil 5'de gösterilmiştir. Her hacimde en düşük harcamanın gerçekleştiği alternatif vurgulanmıştır.



Şekil 5: Ele alınan binada tüm seçenekler için farklı hacimlerde gerçekleşen ısıtma enerjisi harcamaları (kWh)

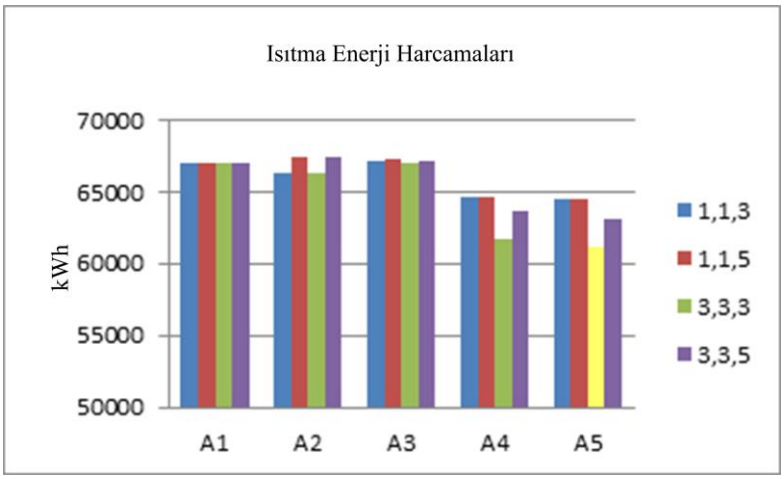
Ele alınan binadaki tüm hacimlerde ısıtma enerjisi harcamalarına tüm seçenekler (1-1-3, 1-1-5, 3-3-3, 3-3-5) için bakıldığında; tüm seçeneklerde zemin kat ve 1. katın güney cephesindeki hacimlerde daha düşük (GB-1, GD-1, GB-2, GD-2), 2. katın tüm daireleri kendi içinde kıyaslandığında ise güney cephesindeki dairelerde daha düşük olduğu gözlenmiştir.
Isıtma enerjisi harcamaları değerlendirildiğinde;

- GB-1,GB-2,GD-1,GD-2, için en iyi seçenek A5 olup 3-3-3 FDM uygulaması, GB-3, GD-3 için en iyi seçenek A3 olup 3-3-5 FDM uygulaması en iyi performansı göstermektedir.
- KD-1, KD-2, KB-1, KB-2 için en iyi seçenek A4 olup 3-3-3 FDM uygulaması, KD-3 en iyi seçenek A2 olup 3-3-5 FDM uygulaması, KB-3 için en iyi seçenek A2 ve A5 olup 3-3-5 FDM uygulaması en iyi performansı göstermektedir.
- En düşük ısıtma enerjisi harcamasının gerçekleştiği GB-2 hacmi etkileşimde bulunduğu hacimler (GB-1, GB-3, GD-2, KB-2) ile karşılaştırıldığında; FDM uygulamasında GB-2'ye göre; GD-2 % 0.37, GB-1 % 3.30, GB-3 % 35.27 ve KB-2 göre % 34.43 daha fazla enerji harcamaktadır.
- En yüksek ısıtma enerjisi harcamasının gerçekleştiği KD-3 hacmi etkileşimde bulunduğu hacimler (GD-3, KD-2, KB-3) ile karşılaştırıldığında; FDM uygulamasında KD-3'e göre; GD-3 %18.76, KD-2 %16.34, KB-3 %0.40 daha düşük enerji harcamaktadır.

Bu durumda; hacimlerin yönlendiriliş durumu, bulunduğu kat ve etkileşimde bulunduğu hacimler sebebiyle her hacim için farklı FDM uygulamalarının (3-3-3, 3-3-5) ve farklı seçeneklerin (A2, A4, A5) ısıtma enerjisi performansı için en iyi seçenek olduğu görülmektedir.

3.2.3. Ele Alınan Bina için Toplam Isıtma Yüklerinin Hesaplanması

Değerlendirme çalışması için geliştirilen 5 alternatif (A1, A2, A3, A4, A5) esas alınarak ve FDM'nin kullanıldığı her alternatif için 4 seçenek (1-1-3, 1-1-5, 3-3-3, 3-3-5) uygulanarak ele alınan binanın toplam ısıtma yükleri hesaplanmıştır. Tüm binaya ait hesaplanan ısıtma enerjisi tüketim miktarları Şekil 6'de gösterilmiştir.



Şekil 6: Tüm binaya ait hesaplanan ısıtma enerjisi harcamaları

Isıtma enerji harcamalarına bakıldığında; en iyi sonucu A5 ile 3-3-3 seçeneğinin verdiği görülmektedir.

4. SONUÇ

Günümüzdeki enerji kullanım istatistiklerine bakıldığında; binalarda tüketilen enerjinin toplam tüketim yüzdesi içinde önemli bir payı olduğu görülmektedir. Bu durum hem enerji tüketim maliyeti açısından hem de çevreye duyarlı bina tasarım kriterleri açısından değerlendirilmelidir.
Bu çalışmada, bina kabuğunun; ısıl kütleye alternatif olarak geliştirilmiş çağdaş bir malzeme olan FDM'nin uygulanması ile performansı değerlendirilmiştir. Çalışma iki aşamalı olarak ele alınmış olup elde edilen sonuçlar ışığında FDM malzemesinin farklı yapı bileşenlerinde kullanımının bina enerji tüketim performansına katkısı karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir;

- Doğru tasarım kararları alındığında FDM'in binalarda yıllık toplam enerji harcamalarının azaltılmasına katkısı olduğu görülmektedir.
- Ele alınan binada ısı pay ölçer uygulamaları nedeniyle daireler arası ısıtma enerjisi harcamaları dengelenmeye çalışıldığında tek bir uygulama ile tüm dairelerde konfor koşullarının sağlanamayacağı, farklı zonlar için farklı önlemler almanın gerekli olabileceği görülmüştür.
- Hacimlerde meydana gelen ısıtma yükleri, hacimlerin yönlendiriliş durumu, bulunduğu kat ve etkileşimde bulunduğu hacimlere bağlı olarak farklılık göstermektedir.

- Her hacim için en iyi seçeneğin oluştuğu bina kabuğu alternatifi (A1, A2, A3, A4, A5)ve FDM uygulaması farklılık göstermektedir.
- FDM'nin çatı, dış duvar, zemin, iç duvar ve iç döşemeye (A5) uygulanması ile hem ayrı ayrı tüm zonlarda hem de tüm binada düşük enerji harcamaları gerçekleşmektedir (Şekil5).
- FDM uygulamalarında, malzemenin kalınlığının artırılması ile enerji korunumunun doğru orantılı olmadığı, her çalışmada optimum FDM kalınlığının belirlenmesi gerektiği görülmüştür.
- Isıtma enerjisi harcamalarının azaltılması açısından, FDM'nin iç döşemede uygulanması, iç duvarda uygulanmasından daha etkindir (Şekil 5).

Gelecekteki çalışmalarda, FDM uygulamaları yapılırken binanın bulunduğu iklim bölgelerinin (soğutma öncelikli / ısıtma öncelikli) göz önünde bulundurularak, FDM'nin yapı bileşenlerine uygulanması farklı form örnekleri ile çoğaltılabilir. FDM uygulanan yüzeyin performans değerlendirmeleri farklı tasarım kriterleri esas alınarak çeşitlendirilip, FDM'in kullanım alanı ve niteliği geliştirilebilir. Böylece enerji harcamalarının azaltılması yönünde farklı çözümler üretilebilir.

KAYNAKLAR

1. D. Depe, "Yenilikçi ısı depolama sistemi faz değiştiren malzemelerin bina enerji verimliliği üzerindeki etkisinin analizine yönelik yaklaşım: diyarbakır ve erzurum örnekleri", *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, (2017).
2. A. Abhat, "Low temperature latent heat thermal energy storage: heat storage materials", *Solar Energy*, **30** (4), (1983), pp: 313–332
3. Y. Konuklu, H. Ö. Paksoy, "Faz değiştiren maddeler ile binalarda enerji verimliliği, *10. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, (2011).
4. F. Kuznik, D. David , K. Johannes, J. J. Roux, "A Review on Phase Change Materials İntegrated in Buildings Walls",*Hall archives-ouvertes*, **15**(1), (2011), pp:379-391.
5. Y. Konuklu, H. Ö. Paksoy, "Faz değiştiren maddeler ile bina uygulamalarında enerji verimliliğinin istatistiksel modelleme ile tahmin edilmesi", *3. Enerji verimliliği kongresi*, (2011).
6. Y. Konuklu, "Mikrokapsüllenmiş faz değiştiren maddelerde termal enerji depolama ile binalarda enerji tasarrufu", *DoktoraTezi*, ÇukurovaÜniversitesi, (2008).
7. N. Lechner, "Heating, cooling, lighting - design methods for architects", Publisher: Wiley-Interscience, *New York*, (1991).
8. Na Zhu, Zhenjun Ma, Shengwei Wang, "Dynamic characteristics and energy performance of buildings using phase change materials: A review*", Energy Conversion and Management*, (2009), **50**(12), pp: 3169-3181.
9. S. N. Al-Saadi, "Modeling and simulation of PCM-Enhanced Façade Systems", *Civil Engineering Graduate Theses & Dissertations*, (2014), pp: 3
10. K. Peippo, P. Kauranen, P. D. Lund, "A multicomponent PCM wall optimized for passive solar heating", *Energy and Buildings*, **17**, (1991), pp: 259–270.
11. Jiawei Lei, Jinglei Yang, En-Hua Yang, "Energy performance of building envelopes integrated with phase change materials for cooling load reduction in tropical Singapore", *Applied Energy*, **162**, (2016), pp: 207-217.
12. E. Köse, G. Manioğlu, "Evaluation of the performance of phase change materials in relation to balanced distribution of heating energy cost in residential buildings", *The Rehva European HVAC Journal*, **55**(2), (2018), pp:52-57.
13. J. Curpek, J. Hraska, "Simulation study on thermal performance of a ventilated pv façade coupled with PCM", *Applied Mechanics and Materials*, (2017), **861**, pp 167-174.

3.Ulusal
Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi

10-11 Mayıs 2018
İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul

BİNA KABUĞUNDA YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR - FOTOBİYOREAKTÖR CEPHELER

İlknur Kükdamar[a]
Prof. Dr. Türkan Göksal Özbalta[b]
Ege Üniversitesi
Bornova, İzmir, 35040

ÖZET

Sürdürülebilir bir çevrenin sağlanması amacı ile kullanımı giderek yaygınlaşan yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyokütlenin, teknolojik gelişmeler paralelinde bina cephelerinden üretimi gündemdedir. Büyük yüzey alanları ile genelde enerji kaybeden cepheler, kapalı mikroalg yetiştirme sistemleri olan fotobiyoreaktörlerin (FBR) uygulanması ile enerji üreten aktif bina kabuğuna dönüşebilmektedir. FBR cepheler, karbondioksidi (CO_2) ve gün ışığını kullanan, mikroalglerin yetişmesine olanak vererek biyokütle üreten, sızdırmaz ve şeffaf kapalı sistemler olarak tanımlanmaktadır. Üretilen biyokütlenin kimyasal dönüşümünden elde edilen biyoenerji, binanın elektrik ve ısı gereksinimini karşılamaktadır. FBR cepheler mikroalglerin fotosentez yapması ile bina CO_2 salımını azaltmanın yanı sıra gölgeleme elemanı olarak da düzenlenebilmektedir. Bu çalışmada, yeni bir yaklaşım olan FBR cephelerin çalışma ilkeleri ve enerji döngüsü ile cephe elemanı tasarımında uygun koşullar, kısıtlamalar, strüktürel açıdan mimari ile bütünleşmesi konuları ele alınmaktadır.

Anahtar sözcükler: Fotobiyoreaktör cephe, Biyokütle, Mikroalg.

ABSTRACT

Using biomass as renewable energy sources on building facades is becoming increasingly widespread parallel to technological developments with the aim of providing a sustainable environment. Facades which generally have energy loss with large surface areas can be transformed into active building envelopes that generate energy through the application of photobioreactors (PBR) closed microalgae cultivation systems. PBR facades, allowing grow microalgae using carbondioxide (CO_2) and daylight, are defined as sealed and transparent closed systems that produce biomass. The bioenergy obtained from the chemical transformation of the produced biomass, meets the electricity and heat requirement of the building. PBR facades can be arranged as shading elements as well as reducing CO_2 emissions of building by performing photosynthesis of microalgae. In this study, working principles and energy cycle of PBR facades, as a new approach, will be discussed. In addition to this, appropriate conditions, constraints and structurally architectural integration will be examined.

Key words: Photobioreactor facade, Biomass, Microalgae.

[a] e-posta adresi: ilknur_yesill@hotmail.com
[b] e-posta adresi: tozbalta@gmail.com

1. GİRİŞ

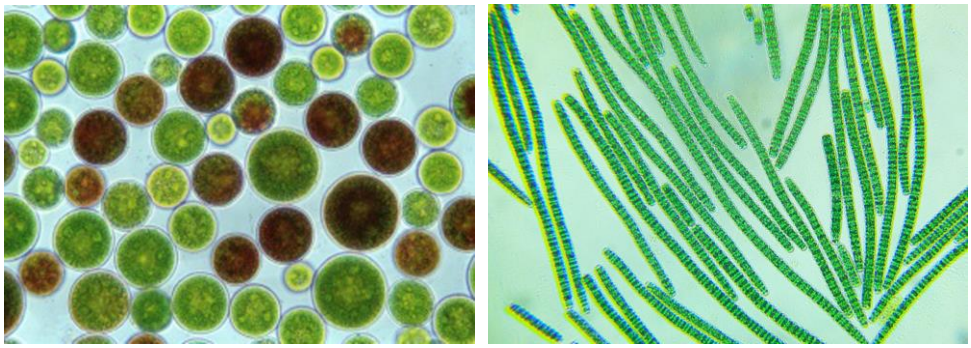
Günümüzde binalar enerji tüketiminde önemli bir paya sahiptir. Bu nedenle sürdürülebilir çevrenin oluşturulması konusunda binalarda enerji verimliliğinin sağlanması kaçınılmazdır. Bunun için binaların daha az enerji tüketmesi ve çevreci yaklaşımlarla enerji üretimine katkıda bulunmalarına yönelik çözümler/teknolojiler geliştirilmektedir. Bu bağlamda mimaride de çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgi giderek artmaktadır, biyoenerji de bunlardan biridir. Biyoenerjinin binalarda üretimi için bina kabuğu elemanlarından cepheler, biyokütle üretim aracı olarak mikroalg yetiştirme sistemi olan fotobiyoreaktörler şeklinde uygulama alanı bulmaktadır. Fotobiyoreaktörlerin cephelerde uygulanması ile sıfır karbona yaklaşan ve enerji etkin olan mimari, sürdürülebilir çevre açısından önem arz etmekte olup düşük karbon salımlı, yenilikçi enerji üretim yaklaşımları gelecekteki kentsel çevrede önemli rol oynayacaktır.

Bu çalışmada, öncelikle mikroalg ve fotobiyoreaktör kavramları ile bazı özellikleri tanımlanarak, fotobiyoreaktörlerin mimari ile bütünleşmesi sonucu ortaya çıkan fotobiyoreaktör cephe uygulaması, çalışma ilkeleri ve enerji üretimi döngüsü açısından bir bina örneğinde ele alınmaktadır. Sonuç olarak fotobiyoreaktör cephe uygulamaları enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik bağlamında sağladığı katkılar açısından incelenmektedir.

2. MİKROALGLER VE FOTOBİYOREAKTÖRLER

2.1. Mikroalgler

Mikroalgler yaklaşık 5 mikrometre büyüklüğünde [**1**], vücut yapıları gerçek kök, gövde ve yaprak olarak farklılaşmamış olan, iletim demetleri bulunmayan ve klorofil-a içeren sucul mikroorganizmalardır (**Şekil 1**) [**2**]. Mikroalgler tüm fotosentetik prokaryotik ve fotosentetik ökaryotik organizmaları temsil etmektedir [**3**]. Ayrıca biyokütle çeşitleri arasında bulunmakta olup dünyanın bitki biyokütlesinin üçte birini oluşturmaktadır. Bu nedenle mikroalglerin biyoenerjide kullanımı önemlidir [**4**]. Mikroalgler, fotosentetik işleme yoluyla organik bileşenlerin üretimi için güneş enerjisinin kullanıldığı verimli bir biyolojik sistem olarak değerlendirilmektedir. Kompleks olmayan damarsız canlılar olmaları biyokütle hasatını kolaylaştırmaktadır. Mikroalgal biyokütle üretim sistemleri işlemsel veya teknolojik açıdan, yoğun emek harcanan basit üretim birimlerinden yüksek yatırım gerektiren gelişmiş sistemlere kadar çeşitlilik göstermektedir [**5**].



Şekil 1: Mikroalg çeşitleri (Chlorella vulgaris ve Spirulina platensis) [1,6]

Mikroalgler fotosentez için karbondioksit (CO_2), güneş ve suyu kullanırken, biyokütle oluşumu için azot, fosfor gibi diğer besin maddelerine de gereksinim duyarlar. Bunun yanı sıra tek hücreli oldukları için her hücrenin bireysel, tek tek fotosentez yapması sonucu çok hücreli bitkilerden daha verimlidirler. Çünkü günde bir kez bölünebilir ve enerji taşıyıcı olan biyokütleyi iki katına çıkarabilirler [**1**].

2.2. Fotobiyoreaktörler

Mikroalg yetiştirilen kapalı sistemler fotobiyoreaktör (FBR) olarak adlandırılmakta [**3**], genelde şeffaf ve sızdırmaz çeşitli kaplar veya konteynerler kullanılmaktadır (**Şekil 2**) [**4**]. Mikroalglerin özelliklerine göre FBR'ler açık sistemlere kıyasla daha iyi üretim ortamı sağlayarak, kaliteyi ve verimi arttırmaktadır. Farklı mikroalg çeşitleri için farklı FBR türleri kullanılmaktadır [**3**].

FBR'lerde verimlilik artışının sağlanabilmesi için gerekenler;

- mikroalg kültürünün iyi bir şekilde karışmasını sağlayan sistemin varlığı,
- sistemin yüksek kütle aktarım oranına sahip olması,
- etkili ışık kullanımı sağlayacak yüzey-hacim oranı,
- yüksek oranda CO_2 aktarımı,
- en üst düzeyde güneş enerjisinden yararlanma,
- biriken oksijenin (O_2) hızla uzaklaştırılmasıdır [**3**].



Şekil 2: Düz-panel, tübüler ve dikey-kolon FBR örnekleri [7,8,9]

3. MİMARİDE FOTOBİYOREAKTÖR CEPHELER

Dinamik sistem olarak anılan FBR cepheler, mikroalgal biyokütlenin yetişmesini sağlayarak yenilenebilir enerjinin üretimini olanaklı kılar (**Şekil 3**). FBR cephelerin mimari ile bütünleşmesi, hem yeni hem varolan tüm yapılar (sanayi, ticari, konut ve kamusal) için geçerlidir [**10**].



Şekil 3: Cephelerde uygulanan düz-panel FBR'ler [11,12]

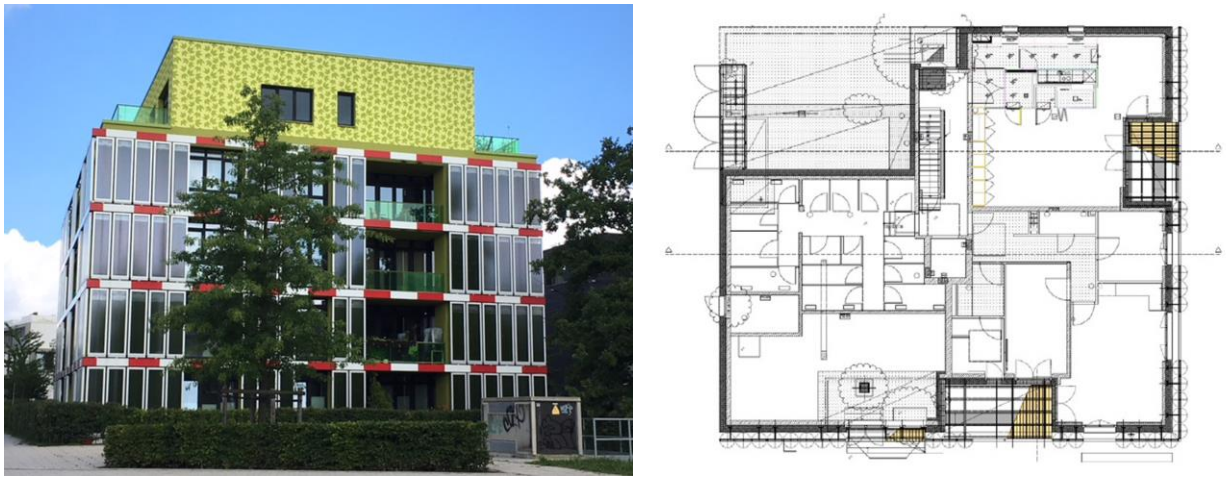
FBR cephelerin özellikleri,

- güneş ışığını biyoenerjiye ve ısıya dönüştürme,
- güneş enerjisi kullanımı ve yerel depolama,
- yenilenebilir enerji üretimi,
- sıfır CO_2 oranına yaklaşma,
- gölgeleme etkisi,
- oluşan hava kabarcıkları ve alg renklerinin çeşitlenmesiyle yaratılan, yaşayan ve dinamik kullanıcı deneyimi,
- yüksek ısıl ve akustik yalıtım sağlama,
- giydirme cephe veya çift kabuk cephe sistemleri gibi uygulanabilirliği olmaktadır [**10]**.

FBR cepheler, estetik kaygıların ötesinde, enerji üretimi sağlayarak gelecekte daha etkin olarak kullanılabilecektir. Akıllı teknolojilerle inşa edilen Bio-Intelligent Quotient (BIQ) binası kendi kabuğuyla enerji üretmekte ve depolayabilmektedir. FBR cepheye ilişkin bileşenler aşağıda BIQ binası örneğinde ele alınmaktadır.

3.1. Bio-Intelligent Quotient (BIQ), Fotobiyoreaktör Cepheli Bina, Hamburg

FBR'lerin uygulanmasıyla ilgili dünyanın ilk FBR cepheye sahip olan BIQ binası, Almanya, Hamburg'ta Uluslararası Bina Sergisi (IBA) kapsamında 2011-2013 yılları arasında inşa edilmiştir. Smart Material House yarışmasında birincilik ödülünü kazanmıştır (**Şekil 4**) [**4**].



Şekil 4: Hamburg'ta inşa edilen BIQ binası görünümü ve zemin kat planı [11,1]

BIQ binası kübik, dört + çatı katlı bir pasif evdir ve SPLITTERWERK Mimarlık (Avusturya) ve ARUP Mühendislik (Almanya) tarafından tasarlanmıştır. Arsa büyüklüğü 1600 m^2, toplam kullanım alanı 839 m^2'dir. Konutların kullanım alanları ise 48-122 m^2 arasında değişmekte olup betonarme ve taş malzeme ile inşa edilmiştir. 14 normal daire ve bir dubleks daireye sahip olan binanın girişi kuzey cephede yer almaktadır. Dairelerin bir kısmı "isteğe bağlı yaşama", değiştirilebilir/esnek tasarım konseptine sahiptir. Banyo, mutfak ve yatak odası gibi mekanların bölümlenmesinde "built-in" mobilyalar kullanılmıştır. Kullanıcıların zamanlamaları ve günlük yaşamın değişen programına göre mekanın kullanımı farklı şekillenmektedir. Zemin katta yer alan teknik mekanlara doğrudan erişim mümkündür [**1**].

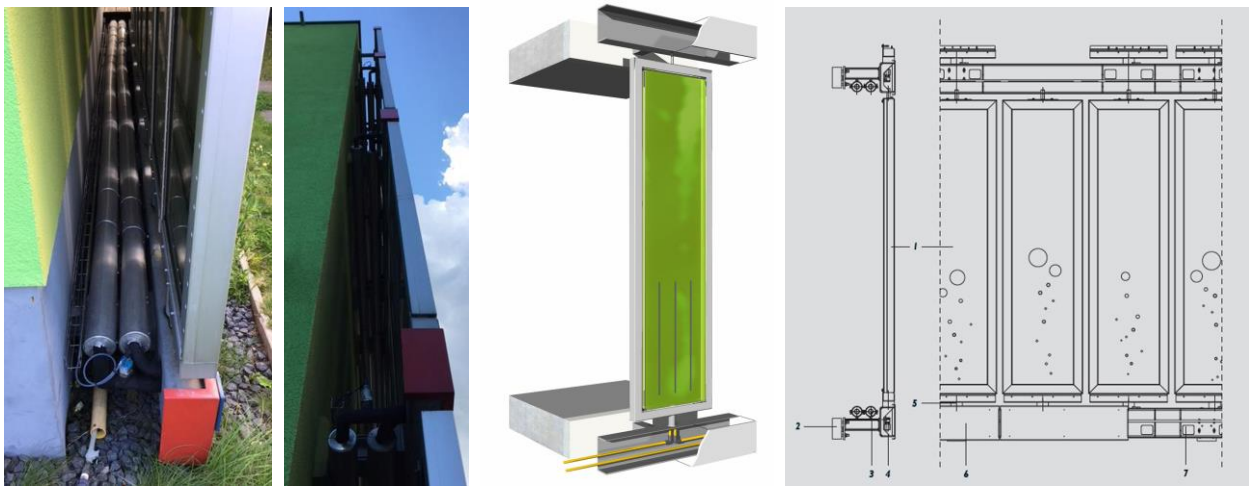
Binanın güneydoğu ve güneybatı yönlerinde yer alan FBR cepheler, enerji üretimi için mikroalglerin yetiştirilmesinde ve bina yüzeyine düşen ışığı kontrol etmek için kullanılmaktadır. Yaşayan organizma mikroalglerin devamlı çoğalmasıyla cephelerde sürekli renk değişimi gözlenmektedir. FBR'lerin mevsimsel olarak değişen renkleri nedeniyle, aktiviteye bağlı olarak, şeffaflıkta ve cephe elemanları boyunca ışığın görülme sıklığında değişiklikler olmaktadır [**1**]. Güneş ışınımının yoğunluğu arttığında, mikroalglerin daha da çoğalması, camdaki toplam enerji iletimini azaltıp gölgeleme sağlayarak, iç mekanın konforunu artırmaktadır [**10**]. FBR'lerdeki devamlı karıştırma sürecinde yükselen kabarcıklar, dinamik ve değişen bir görünüm yaratmaktadır. Binanın güney cephesinde yer alan balkonlar ise kullanıcılara FBR cephenin doğal enerji üretimini yakından izleme fırsatı sunmaktadır. Ayrıca mikroalglerin CO_2'i parçalaması ve fotosentez sürecinin işleyişi engelsiz olarak görülebilmektedir. Dışarıdan izlenebilen yenilenebilir enerji üretimi mimari konseptin bir parçasını oluşturmaktadır. Güneşe bakan iki dinamik cephenin zıt yönlerinde, gölgede kalan cepheler ise yeşil renkli sıvalı ve küçük pencere açıklıklarına sahiptir (**Şekil 5**). Çatı katı ise, renk ve desen bakımından farklı ve yapının geri kalanından ayrı, bağımsız bir bileşen olarak değerlendirilmektedir [**1**].



Şekil 5: FBR'lerdeki karıştırma sürecinde yükselen kabarcıklar ve yenilenebilir enerji üretiminin dış yüzeyden görünümü [11]

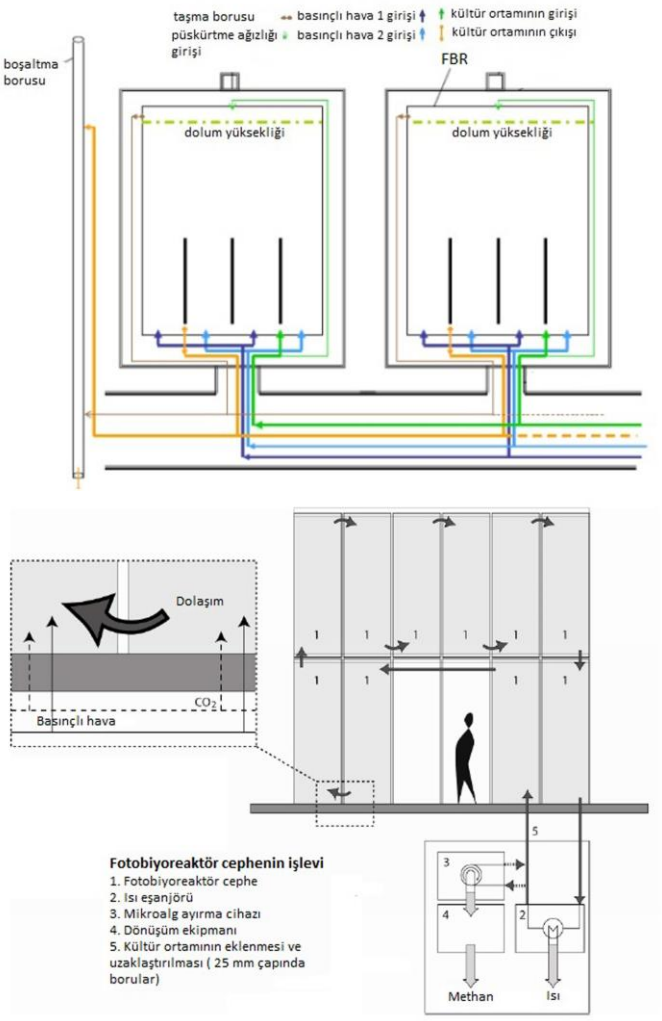
3.2. BIQ, Fotobiyoreaktör Cepheler ve Enerji Üretimi

FBR cepheler, biyokütle ve ısının üretimi için kullanılmaktadır. BIQ binasında gruplar halinde düzenlenmiş, toplam yüzey alanı 200 m^2 olan [**4**], 70 cm genişliğinde, 270 cm yüksekliğinde ve 8 cm kalınlığında, 129 adet FBR modülü bulunmaktadır (**Şekil 6**). Mikroalglerin yetiştirildiği kültür ortamıyla doldurulan modüller kablolama için kullanılan bir çelik çerçeveye monte edilmiştir. Biyogaz yakıtlı kombine ısı ve güç ünitesinden çıkan baca gazı, yani CO_2, kültüre eklenerek mikroalgleri beslemekte, böylece hem biyokütle üretilmekte hem de atmosfere salınan CO_2 miktarı azaltılarak çevreye katkı sağlanmaktadır [**1**].



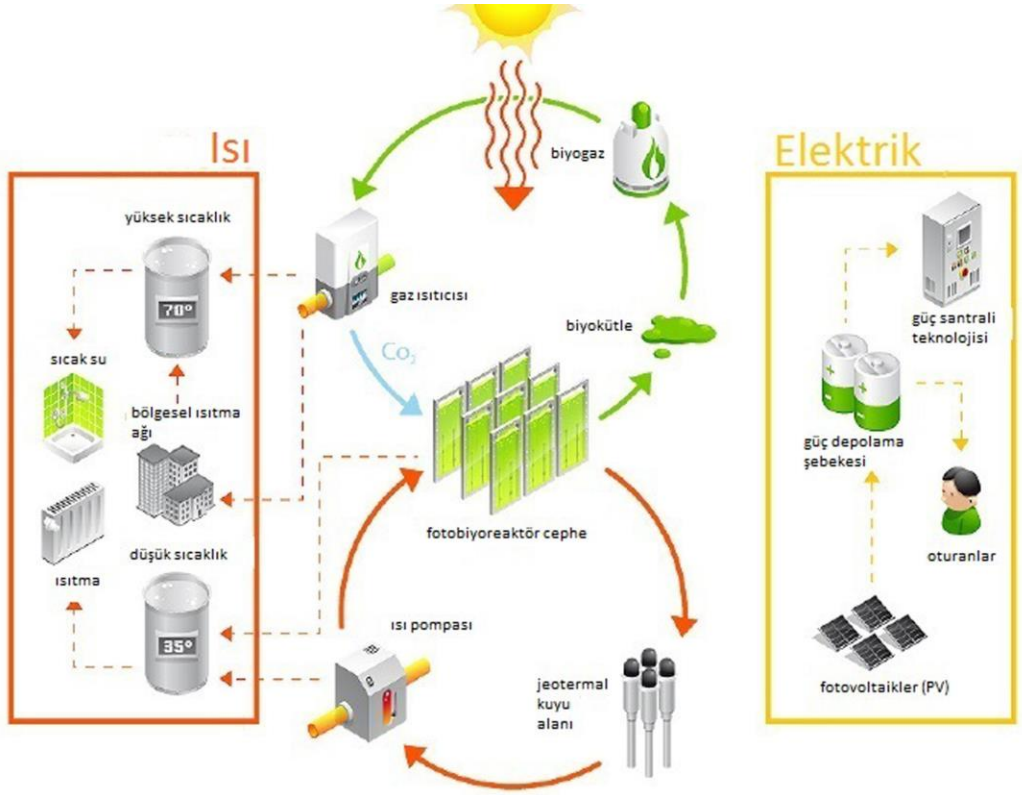
Şekil 6: BIQ binasındaki FBR'lerin yapısı, görünüşü ve kesiti [11, 12, 10]

1,7 cm aralığa sahip iki lamine camdan oluşan saydam modüllerdeki kültür ortamının sıcaklığı yaz döneminde 40°C'nin altında, kışın ise 5°C'nin üstünde sabit tutulmaktadır. Mikroalglerin çökelmesini ve kümelenmiş halde sıvı içinde asılı kalmasını önlemek için, basınçlı hava ile kültür ortamı sürekli karıştırılmakta ve ortama CO_2 verilmektedir. Birbirlerine seri bağlı FBR modüllerdeki kültür ortamı sistemin tümünde dolaşım yapabilmektedir (**Şekil 7**) [**1**].



Şekil 7: FBR'lere basınçlı hava ve kültür ortamının girişi-çıkışı ve seri bağlı FBR sisteminde tüm kültür ortamının dolaşımı [1]

BIQ binasının ısı gereksinimi farklı kaynaklardan sağlanmaktadır. Güneş ışınları ile FBR'lerin sıcaklığı 35°C'ye kadar çıkabilmektedir. Böylece buradan elde edilen sıcak su merkezi bir depoda toplanmakta ve suyun ısısı eşanjör aracılığı ile alınarak mekan ısıtması ve/ya sıcak su ön ısıtma amaçlı kullanılmaktadır. Yani FBR cepheler güneş kollektörü gibi çalışmaktadır. Yıl boyunca ısı üreten FBR cepheler, yaz aylarında en yüksek verime ulaşmakta ve kullanım fazlası ısı enerjisi yaklaşık 80 m derinlikte jeotermal kuyularda depolanmaktadır. FBR'ler tarafından ısı üretiminin düşük olduğu dönemlerde ise gerektiğinde ısı bu kuyulardan ısı pompaları ile geri alınmaktadır. Elde edilen biyokütle ise enerji merkezinde filtrelenerek toplanmakta, harici bir biyogaz üretim tesisinde biyogaza dönüştürülmekte ve kente enerji tedarik etmek için kullanılmaktadır. Eş zamanlı olarak, biyogaz yakıtlı kombine ısı ve güç ünitesinin FBR'ler için bir besin maddesi olarak baca gazı üretmesi gerekmektedir. Ortaya çıkan atık ısı, ayrıca suyun ısıtılması için kullanılmaktadır veya ihtiyaç fazlası, enerji ağının bölgesel ısıtma sisteminde saklanmaktadır ve gerekirse bölgesel ısıtma sisteminden tekrar alınmaktadır. Ayrıca binanın enerji sisteminde fotovoltaik paneller planlanmış, ancak uygulaması yapılmamıştır (**Şekil 8**) [**1**].



Şekil 8: FBR cephelerin enerji üretim döngüsü [1]

BIQ binası Pasif Ev standardına uygun olarak inşa edildiği için ısı enerjisi gereksinimi oldukça düşüktür. Bu nedenle enerjinin büyük bir kısmı mevsimsel olarak sıcak su eldesi için kullanılmaktadır. Yaşam alanları yerden ısıtma sistemine sahiptir ve havalandırma sistemi bir atık ısı geri kazanım cihazı ile desteklenmektedir [**1**].

FBR cephelerde her metrekare için, günde 15 gr biyokütle üretilmektedir [**4**]. 1 gr kuru biyokütle yaklaşık 23 kJ enerji içermektedir, yani bu cephelerden üretilen biyokütledeki toplam enerji metrekare başına 345 kJ olmaktadır (**Çizelge 1**) [**1**]. Bütün cepheler her yıl BIQ binasının CO_2 salımını 6 ton azaltmakta ve 2,5 ton CO_2 biyokütle tarafından emilmektedir [**10**].

Çizelge 1: FBR cephelerde her metrekare alan başına günlük üretim verileri [1]

Her m^2 fotobiyoreaktör alanı başına temel veriler	
Biyokütle üretimi	15 gr / m^2 / gün (900 kg / yıl)
Biyokütle içindeki enerji üretimi	345 kJ / m^2 / gün
Biyokütleden biyogaz üretimi	10,20 L metan / m^2 / gün

FBR'lerde oluşan biyokütle, bir mikroalg ayırıcı sistem aracılığıyla hasat edilmektedir. Hasat edilen biyokütle sıcaklık kontrollü bir konteynerde toplanmakta, harici biyogaz üretim tesisine nakletme ve biyokütlenin metana dönüşümü haftada bir kez gerçekleşmektedir. Net 200 m^2 yüzey

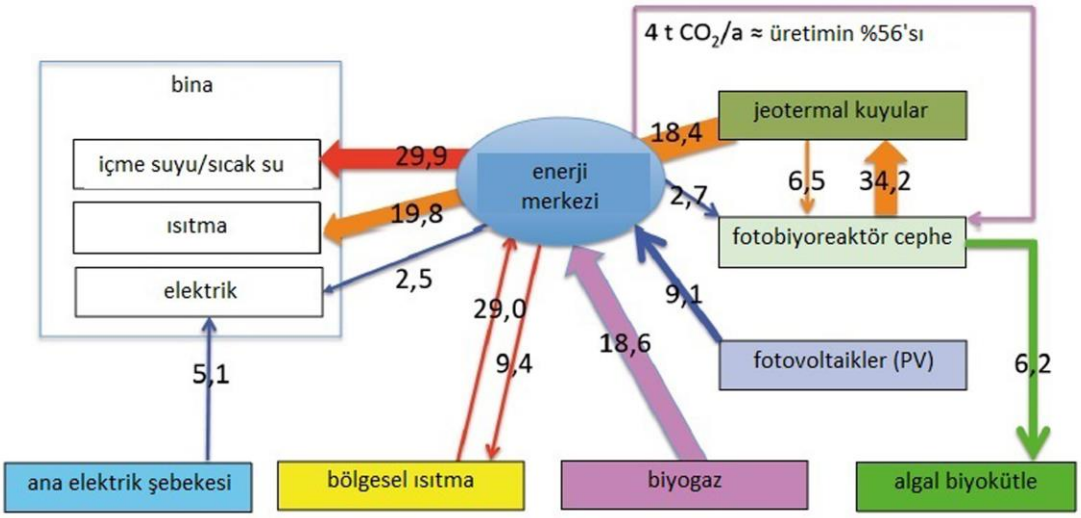
alanına sahip olan FBR cephelerden bir yıllık metan üretimi 612 m^3, metandan net enerji üretimi yaklaşık 4541 kWh, ısıdan net enerji üretimi yaklaşık 6000 kWh'dir (**Çizelge 2**) [**1**].

Çizelge 2: FBR cephelerde net yüzey alanı için yıllık enerji üretim verileri [1]

200 m^2 fotobiyoreaktör alanı için yılda 300 günlük üretim ile enerji göstergeleri	
Metan üretimi	612 m^3 metan / yıl
Metan içindeki enerji	6487 kWh / yıl
Enerji kaybı (yardımcı güç, vb.)	Üretimin %30'u
Metandan net enerji	yaklaşık 4541 kWh / yıl
Isıdan net enerji	yaklaşık 6000 kWh / yıl

Bu binanın FBR cephelerinin her yıl 30 kWh/m² biyokütle ve 150 kWh/m² ısı enerjisi üreteceği öngörülmektedir. Bir yıl boyunca yapılan ölçümler sonucunda, FBR cephelerde ışığın biyoenerjiye dönüşüm verimliliği %10, ısı enerjisine dönüşüm verimliliği ise %38'dir **[10]**.

Aşağıdaki sonuçlar, BIQ binasının yıllık enerji dengesi için geçici öngörüleri ortaya koymaktadır (**Şekil 9**). FBR'lerin pilot statüsünden dolayı gerçek yıllık enerji dengesinin, sadece bir yıl boyunca toplam kullanımları hesaba katıldıktan sonra saptanabileceği bildirilmektedir [**1**].



Şekil 9: BIQ binasının yıllık enerji dengesi (MWh/yıl) [1]

4. SONUÇLAR

BIQ binası, FBR cephe uygulamasında pilot proje olup, 200 m^2 mikroalg cephesi ile ortalama yıllık 4500 kWh elektrik enerjisi üretmektedir. Ancak bu bir konutun yıllık ortalama enerji tüketiminden (yıllık 3500 kWh) biraz fazlasıdır. Fakat bu uygulamada mikroalg cephesinden konutların önemli bir bölümünün ısı enerjisi sağlanabilmektedir. FBR'lerden yaklaşık dört dairenin ısı gereksinimi karşılanmaktadır. Dolayısıyla, FBR cepheler elektrik üretmek için değil, ısı üretmek için kullanılmaktadır (yıllık 6000 kWh) [**1**]. Prototip BIQ binasının işletim verimliliği

henüz kanıtlanmamış olmasına karşın, yenilebilir enerji uygulamaları konusunda biyokütle kullanımı açısından yeni binalar için bir model oluşturmaktadır.

Enerji güvenliği açısından talebin çeşitli kaynaklardan sağlanması istenen bir durumdur. FBR'ler, bu görüşe katkıda bulunmakta ve bölgesel ısıtma ağı aracılığıyla jeotermal ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını desteklemektedir. FBR cephe sistemi endüstriyel ve ticari yapılar, kamu ya da konut binaları olsun tüm bina türlerinde uygulanabilir. Ancak özellikle cephe sisteminin, baca gazını yani CO_2'i depolamasıyla, süreçten kaynaklanan CO_2'i bertaraf etmesi açısından endüstriyel yapılar ile bütünleşmesi önem arz etmektedir. Ayrıca, düşük katlı endüstriyel binaların geniş yüzeyli cepheleri ve çatıları, FBR uygulamaları için potansiyel oluşturmaktadır [**13**]. Hatta mevcut yapıların bina kabuğu da bu anlamda değerlendirilebilir. Uzun vadede FBR cephe uygulamaları, fotovoltaik paneller ve biyogaz yakıtlı kombine ısı ve güç ünitesi ile bağlantılı olarak, elektrik ve ısı enerjisi eldesinde gelecek vadetmektedir.

KAYNAKLAR

1. "Smart Material House BIQ – IBA Hamburg", 2016. (27 Kasım 2017), https://www.iba-hamburg.de/fileadmin/Slideshows_post2013/02_Wissen/01_Whitepaper/130716_White_Paper_BIQ_en.pdf

2. Türk Dil Kurumu, "Alg", b.t., (26 Şubat 2018), http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_bilimsanat&arama=kelime&guid=TDK.GTS.5aa3fc22a586b2.41030004

3. M. Conk Dalay, E. İmamoğlu ve S. Öncel, "Mikroalgal biyokütle üretimi için düşük maliyetli fotobiyoreaktör tasarımı", *TÜBİTAK MAG, Proje No: 104M354*, (2008).

4. J. Wurm, "The bio-responsive facade", *Detail Green, 2013(1)*, (2013), pp: 62-65.

5. K. Kendirli, *Spirulina Kültürlerinde Besin Elementlerinin Farklı Oranlarda Kullanımının Kuru Madde, Protein ve Klorofil-a Düzeyine Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, (2010).

6. "Spirulina platensis microscopy sample", b.t., (10 Mart 2018), http://algae-lab.com/product/spirulina-platensis-m1/

7. "Photobioreactor" b.t., (10 Mart 2018), http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Photobioreactor_PBR_500_P_IGV_Biotech.jpg

8. "Photobioreactor for Micro Algae Production", b.t., (16 Ocak 2017), http://neogenesisindia.com/pht_rctr.html

9. "Marine microalgal biotechnology", b.t., (25 Aralık 2014), https://www.niot.res.in/niot/img/osti_img06.jpg

10. ARUP, "Solarleaf Bioreactor Façade", 2013, (28 Ekim 2014), http://www.coltinfo.co.uk/files/pdf/UK/SolarLeaf%20bioreactor%20facade.pdf

11. Türkan Göksal Özbalta fotoğraf arşivi, (Şubat, 2017).

12. "Research and practice: the bio-responsive façade", 2013. (25 Aralık 2014), http://www.detail-online.com/inspiration/research-and-practice-the-bio-responsive-facade-106313.html

13. İ. Kükdamar, *Biyo Adaptif Cephe Elemanları*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, (2016).

3.Ulusal
Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi

10-11 Mayıs 2018
İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul

CEPHE SİSTEMLERİNDE YANGIN ÖRNEKLERİ VE ALINABİLECEK ÖNLEMLER

Hasan Efe Özdemir[a]
Metal ve Yapı Sistemleri Ticaret AŞ
Prof. Dr. Mustafa Özgünler[b]
MSGSÜ – Yapı Fiziği ve Malzeme Anabilim Dalı

ÖZET

Geçmiş deneyimler ve yaşanan hadiseler üzerine, giydirme cephelerden kaynaklanan ya da cepheler üzerinden kattan kata yayılan yangınların yapılar için ciddi tehdit oluşturduğu anlaşılmıştır.
Günümüze kadar yaşanan giydirme cephe kaynaklı yangınlar incelendiğinde sebeplerin birçok etkene bağlı olduğu görülmektedir. Temel olarak bu sebepler; yanıcı özelliği olan malzeme seçimi, yangın esnasında yapısal elemanların dayanımlarını yitirmesi, sprinkler sistemlerinin yetersizliği ve katlar arasında yangın bariyeri oluşturma konusunda yanlış detaylandırma yapılması olarak belirlenebilir.
Bu araştırma, yukarıda bahsedilen sebepleri önceden yaşanan cephe yangınları üzerinden örneklerle açıklamakta ve olası çözümleri belirlemektedir. Çalışmanın amacı cephe sistemlerinde yangın önlemi açısından yapılan yanlış uygulamaları belirlemek ve sunulan çözümlerle tasarım aşamasında olası tehlikelerin önüne geçmektir.

Anahtar sözcükler: Cephe yangınları örnekleri, Cephelerde yangının yayılması, Cephelerde yangın yalıtımı

ABSTRACT

It has been understood from the past experiences and incidents that fires spreading from curtain wall of the buildings or fire at the curtain wall of the buildings are a serious threat to structural and human safety.
When the previous fire incidents originating from the curtain walls are examined, it can be observed that the main causes are connected to many factors. These factors basically are, selection of materials with high combustibility, loos of structural integrity during the fire, inadequacy of sprinkler systems and improper detailing for fire barriers between floors.
This article explains the reasons mentioned above with examples from the past fire incidents observed in curtain walls and identify possible solutions. Main purpose of this study is to provide an overview for the wrong applications in terms of fire safety aspect and prevent possible hazards in the design phase with the solutions presented.

Key words: Curtain wall fire examples, External fire spread, Façade fire insulation

[a] ozdemirhasanefe@gmail.com
[b] mustafa.ozgunler@msgsu.com

1. GİRİŞ

Giydirme cephe sistemleri özel durumlar haricinde genellikle yangın dayanımı olması beklenen sistemler olarak zorunlu tutulmamaktadır. Ancak bu, cephe sistemlerinin yangın güvenliği açısından göz ardı edilebileceği anlamına gelmemektedir. Cephe yangınları genellikle yapı içindeki insanların can güvenliği açısından tehdit oluşturmaz. Ancak bu yangınlardan dolayı ortaya çıkabilecek ikincil yangınlar güvenlik açısından tehlike arz etmektedir. **[1]** Bu ikincil hadiseler aşağıdaki gibi örneklendirilebilir.

- Alt katta oluşan yangının pencere/kapı gibi açıklıklardan üst kata sıçraması (leap frogging).
- Yangının, kullanılan yanıcı malzemelerden dolayı yapı kabuğu üzerinden yayılması.
- Yangının, katlar arası bulunan boşluktan dolayı kattan kata yayılması.
- Isı dolayısıyla dış cephenin bütünlüğünün bozulması ve dolayısıyla yangının yayılması.**[2]**

Özellikle enerji tüketimini azaltmak için kullanılan yenilikçi malzemelerin yanıcı özelliğe sahip olması yangın güvenliği açısından giydirme cephe sistemlerinin tasarımını ciddi oranda etkilemektedir. **[3]**

Cephe sistemlerinin yangın yayılımını sınırlaması/engellemesi beklenmektedir. Çünkü cephe yangını kategorisine alınabilecek hadiseler yapı yangınlarına oranla özellikle yangının ihtiyaç duyduğu yakıt açısından bakıldığında ciddi oranda farklılık göstermektedir. Yapı yangınlarına kapalı hacim yangını olarak bakılabilir, ancak cephe kaynaklı yangınlar düşünüldüğünde atmosfere açık, dolayısıyla oksijenin sınırsız olduğu durumlar ikincil yangınların tetiklenmesine ve önüne geçilemeyecek kayıplar verilmesine sebep olabilir. Bunun için giydirme cephe sistemlerinde, tasarım anlamında etkili detaylandırma yapılması gerektiği ortaya çıkmaktadır. **[4]** Malzeme seçiminin ve doğru tasarımın önemini vurgulamak amacıyla bu metinde günümüze kadar yaşanan bazı giydirme cephe kaynaklı yangın örneklerine değinilecektir. Her bir örneğin sebebi açıklanarak olası çözümlerin neler olabileceği belirtilecektir.

Aşağıda, bu çalışmada yer alan, cephe kaynaklı yangın ve yangın yayılımı örneklerine ve metinde vurgulanmak istenen noktalara kısaca değinilmiştir.

- First Interstate Bank Building; giydirme cephe panellerinin yangın etkisi altında bütünlüğünün önemi,
- One Meridian Plaza Building; yağmurlama sisteminin cephe üzerinden yayılan yangın açısından etkisi ve önemi,
- Wooshin Golden Suits; giydirme cephe kaplaması olarak kullanılan yanıcı malzemelerin yangın yayılımı açısından etkisi,
- Mandarin Oriental Hotel; yapım-montaj aşamasında olan yapıların yangın güvenliğinin sağlanmasının önemi.

2. YANGIN ÖRNEKLERİ VE ALINABİLECEK ÖNLEMLER

Bu bölümde metnin çekirdeğini oluşturan örneklere ve açıklamalara yer verilecektir. Giydirme cephe yangınları olarak nitelendirilebilecek hadiselerin sebepleri incelendiğinde, ortaya çıkan

yangının ve etkilerinin ayrı ayrı birçok etkene bağlı olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, tasarım ve detaylandırma açısından bakıldığında giydirme cephe modüllerinde yangın güvenliğinin sağlanması oldukça karmaşıktır ve genel geçer çözümlerden bahsetmek mümkün değildir.

2.1. First Interstate Bank Building, Los Angeles, California, 1988

Yangının çıktığı zamanda yağmurlama (sprinkler) sistemi giriş katlarda bulunmakta ve yapının diğer katlarına henüz kurulmaktadır. Giydirme cephe sistemiyle kat döşemesi arasında 100 mm yangın bariyeri görevi görecek şekilde 15mm kalınlığında alçı levha ve fiberglas kaplama bulunmaktadır. 12. katta başlayan yangın giydirme cephe sistemi üzerinden üst katlara yayılmıştır. Yangının yayılmasının ana sebebi yüksek ısı sebebiyle giydirme cephe panellerinin bütünlüğünü yitirmesi ve bunun sonucu olarak yangın bariyerinin işlevini yitirmesi olarak gösterilmektedir. Alevlerin 9m kadar yükseldiği tahmin edilmektedir. Giydirme cephe sistemini oluşturan mulyonlar(düşey taşıyıcılar), çerçeve elemanları, spandrel paneller yangın tarafından tamamen tahrip edilmiştir. (Şekil 1) **[1]**

Bu örnekten anlaşıldığı üzere, yangın bariyerinin işlevsel şekilde detaylandırılması içinde bulunduğu modülün bütünlüğü zarar gördüğü sürece anlamsız olacaktır. Cephe modülünü oluşturan elemanlar içerisinde bütünlüğü etkileyecek elemanlar yangın açısından doğru şekilde yalıtılmalıdır. Örneğin paneli taşıyan mesnetlerin çelik olması yangın esnasında uzun süre dayanmalarını sağlayacaktır. Bu mesnetlerde kullanılan kimyasal bazlı dübellerin kullanıldığı durumlarda bu kimyasalların ısıl etkilere dayanıklı olup olmadığına dikkat edilmelidir. Yangın bariyerinin uygulanacağı durumlarda mesnet noktaları bu bariyerlerin üzerinde olacak şekilde bulunduğu takdirde alt katta bulunan yangının etkisi azaltılmış olacaktır.

Normal şartlar altında ilerlemiş bir yangının ortaya çıkardığı sıcaklık camın birkaç dakika içerisinde kırılmasına neden olur. Bu da termal bariyer görevi gören bütün elemanların alevlerin etkisinde kalmasına sebebiyet verir. Bu aşamada cephe panelini oluşturan elemanların artan ortam sıcaklığı altında nasıl davranacaklarını tahmin etmek zordur. Alüminyumun 200°C üzerindeki sıcaklıklarda kapasitesinin %50'sini kaybettiği bilinmektedir. Çelik elemanlar erimese de termal genleşmeye maruz kalarak bağlantı noktalarında fazladan yük konsantrasyonlarına sebep olabilir. **[5]**

Estetik açıdan spandrel panellerle bölünmemiş tekil camlı paneller yangın güvenliği ve kattan kata yangın sıçrama ihtimali açısından spandrel panellere göre daha tehlikeli konumdadır. Spandrel bölüntüye sahip paneller yangının kattan kata yayılmasını sınırlayabilir ve ısının üst kata iletilmesini engelleyebilir. Spandrel paneller içinde kullanılan yalıtım malzemelerinin bu konuda özellikleri önem taşımaktadır. Mineral yün malzemeler doğru oryantasyonda uygulandığı zaman yangın açısından iyi performans gösteren, yangın bariyeri olarak kullanılabilir.

Mimari açıdan bakıldığında açıklıkların şekilleri ve birbirileriyle ilişkileri yangın yayılımı açısından büyük etkiye sahiptir. Geçmiş tecrübeler dar ve dikey açıklıkların, geniş ve yatay açıklıklara oranla yangın yayılımı açısından daha etkili olduğunu göstermiştir. Dar ve dikey açıklıklar alevleri cepheden uzaklaştırarak ısıl etkiyi görece daha düşük tutabilmektedir. **[6]**

Cephe modüllerinin dışarı açılan çıkıntılara sahip olması kattan kata yangın yayılımını engelleyebilir. Bu yöntem genellikle Fransa'da kullanılmaktadır. Çelik bilindiği üzere yangın

anında bütünlüğünü yitirmeyen bir malzeme olarak kabul edilebilir ve cephe üzerinden yayılan alev ve sıcak dumanları kesebilecek bir yangın perdesi görevi görebilir. Bu sebeple temel malzeme olarak çeliğin kullanılmasıyla yukarı yönde yangının ilerlemesini kesecek bariyerler oluşturulabilir. Ancak bu yöntemin First Interstate Bank örneği dikkate alındığında 9 metreye kadar yükselen alevler için çok da geçerli olmayacağı varsayılabilir.



Şekil 1: First Interstate Bank Building Yangını **[1]**

2.2. One Meridian Plaza Building, Phildelphia, 1991

Bu yangın 28 katlı binanın 22.katında başlamıştır. Binanın dış cephesi granit ve cam katmanlardan oluşan panellerden oluşmaktadır. Yapıdaki yağmurlama sistemi yalnızca giriş katlarda ve 30. katın yukarısında bulunan katlarda bulunmaktadır. 22. kattan başlayan yangın katta bulunan camdan sıçrayarak üst katlara yayılmıştır. Yağmurlama sisteminin bulunduğu 30. kata kadar yayılan alevler bu katta durmuştur.

Bu örnek aktif yağmurlama sisteminin cephe üzerinden yayılan yangınların engellenmesinde etkili bir yöntem olabileceğini göstermektedir. Bu cephe sistemlerinin kendi içerisinde yanmasına engel oluşturmasa da yapının iç kısmını yangın güvenliği açısından korumuş olacaktır. Ters yönde düşünüldüğünde de yağmurlama sistemleri yapının iç kısmında oluşan yangının dış cephe modüllerini tehlike oluşturacak şekilde etkilemesini engelleyecektir. **[2]**



Şekil 2: One Meridian Plaza Yangını **[1]**

Yangın korunumu açısından aktif sistemler cephe modüllerine de entegre edilebilir. Örneğin yangın anında duman tahliye kanadı olarak görev alan açılabilir entegre sistemler zehirli gazların dışarı salınımı açısından kritik rol oynamaktadır. Bu birimler detektör sistemlerine ve otomasyona bağlı oldukları zaman yangın anında yapılardaki baca etkisinin de kullanılmasına imkan vererek son derece etkili şekilde kullanılabilir. Ancak oksijenin yangın için bir yakıt görevi göreceğini de dikkate alarak dışardaki havanın bu kanatlarca içeri alınması engellenmelidir. Bu sebeple bu açıklıkların tasarımının doğru yapılması önem taşımaktadır. Ek olarak bu sistemlerin gerektiğinde uzun süreli yangın dayanımlı olması veya ısı yansıtıcı/absorbe edici özellikte olması beklenmektedir. Dolayısıyla kullanılan malzemelerin standartlarca belirlenmiş yangın sınıflarına uygun olması ve modüllerin bütünlüğünü yitirmemesi yapılan testlerle kanıtlanmalıdır.

2.3. Wooshin Golden Suits, Busan, Güney Kore, 2005

Bu yapı 140 metre yükseklikte genellikle konut görevi gören dairelerden oluşmaktadır. Yapının dış cephesini içerisinde 30mm kalınlığında expanded polystrene (eps) köpük çekirdeğe sahip kompozit levhalar bulunan giydirme cephe panelleri oluşturmaktadır. Yangının yağmurlama sistemi bulunduğu söylenen 4. katta yağmurlama sistemi bulunmayan bir odada çıktığı raporlanmıştır. Odada çıkan yangın dış cephe elemanları üzerinden 20 dakika içerisinde 37. kata kadar yayılmıştır. Oluşan zarar 400 milyon Yen değerinde ölçülmektedir. **[2]**

Expanded polystrene köpükler termal yalıtım açısından tercih edilebilir bir malzeme olsa da bu örnekten anlaşılabileceği üzere yangın açısından son terece tehlikelidir.



Şekil 3: Wooshin Golden Suits Yangını **[2]**

Yanıcı malzemelerin kullanımı yapının yüksekliğine, kullanım alanına ve çevresinde oluşturacağı etkiye bağlı olarak sınırlandırılabilir. Yanıcı malzemelerin çok katlı yapı sınıfına giren binalarda sınırlı oranda kullanılmasına izin verilmelidir. Örneğin İngiltere'de 18 metreden yüksek binaların cephelerinde kullanılacak yalıtım ve dolgu malzemelerinin sınırlı değerde yanıcılığa sahip olması beklenmektedir. Ancak bu malzemeler, fitil ve silikon gibi malzemeler için geçerli değildir. **[7]** Çünkü cephe modülleri içerisinde bunlar gibi yanıcı özellik gösteren malzemeler yüzey alanı açısından değerlendirildiğinde yangın yüküne ciddi oranda katkıda bulunmadıkları için yangın oluşumu ve yayılımı açısından tehlike oluşturmayabilir. Yüksek bina sınıfına girmeyen yapılar içerisinde expanded polystrene gibi yanıcı malzemelerin kullanıldığı durumlarda katların 2-3 katta bir yangın açısından kompartımanlara ayrılması tavsiye edilmektedir. Bu şekilde yangının geniş bir alana yayılması ve çevreye zarar vermesi önlenebilir. Kompartımanlara ayırma konusunda kullanılacak malzemeler A-tipi yanmaz inorganik malzemeler olabilir. Bu tip malzemeler yangının ilerlemesini engelleme konusunda oldukça etkili olacaktır.

2.4. Mandarin Oriental Hotel, Pekin, Çin, 2009

Mandarin Oriental Hotel 32 katlı ve 159 metre yüksekliğinde ve yangının gerçekleştiği anda henüz yapım aşamasında olan bir yapıdır. Yapı kabuğu görevindeki giydirme cephe sistemi içerisinde extruded polystrene (xps) yalıtım malzemesi kullanıldığı düşünülmektedir. Yangının asıl çıkış sebebi izinsiz yapılan havai fişek gösterisi olduğu belirtilmektedir. Sıcak partiküllerin çatı katında bulunan metal kaplamayı delerek yanıcı yalıtım tabakasını tutuşturduğu varsayılmaktadır. Cephelerde görülen birçok yangın yayılım örneğinin aksine bu hadisede yangın yukarı doğru yayılmak yerine üst katlardan alt katlara doğru yayılmıştır. **[3]**



Şekil 4: Mandarin Oriental Hotel Yangını **[3]**

Bu hadise yapım aşamasında olan binaların yangın güvenliğinin sağlanması gerektiğinin önemini vurgulamaktadır. Yanıcı özelliği olan malzemelerin kullanımı konusunda Mandarin Oriental Hotel yangını önemli bir örnek oluşturmaktadır. Expanded polystrene ve extruded polystrene köpük gibi yanıcı özellikteki malzemelerin test yöntemiyle değerlendirilerek kullanım oranına karar verilmesi gerekmektedir. Bu malzemelerin özellikle yangın yayılımı açısından giydirme cephelere etkisi test edilerek araştırılmalıdır.

Günümüz yapılarının sahip olduğu kompleks geometri ve tasarımlar sebebiyle yangın güvenliği konusunda genel-geçer kurallar konması fizibilite açısından mümkün görünmemektedir. Bu sebeple performans tabanlı testlerin yapılması tasarımların sürekliliği açısından gerekli olmaktadır. Başka bir deyişle özellikle yüksek yapılar için tasarlanan cephe modüllerinin yangın simülasyonları ya da testleri altında gösterdiği performans değerleri baz alınmalıdır. **[6]**

3. SONUÇ

Yangın güvenliği açısından yapılan araştırmalar ve uygulanan yöntemler yapıların mimari açıdan tasarımında yangın dolayısıyla yaşanabilecek kayıpları minimuma indirebilecek şekilde ilerlemiştir. Ancak cephe sistemleri konusunda bu ilerlemenin henüz gerçekleşmediği ve giydirme cephe sistemlerinin yapıların yangın güvenliği açısından bir tehdit olduğu halen karşılaşılan örneklerce anlaşılmaktadır. Metnin amacı bahsedilen bu noktaya örneklerle parmak basarak olası çözümleri sunmaktır.

Günümüzde kullanımda olan birçok yapıya ait cephe sistemleri bugün geliştirilen ve uygulanan standartlara göre incelendiği takdirde sınıfta kalacaktır. Ancak hazırda kullanımda olan sistemler için iyileştirmeler yapılabilir. Örneğin doğru şekilde tasarlanmış yağmurlama sistemi yangının yayılımını önleyebilir. Cephe kaplaması olarak expanded polystrene veya extruded polystrene

köpük gibi son derece yanıcı olan malzemelerin bulunduğu yapılar konusunda kullanıcıları bilinçlendirmek ve yangın açısından önlemler almak, var olan yapılar için bir çözüm örneği olarak gösterilebilir. Ek olarak yanıcı malzemelerin kullanıldığı yapıları kendi içinde ve komşu yapıları etkilemeyecek şekilde kompartımanlara ayırmak da etkili bir yöntem olarak düşünülebilir.

Giydirme cephe sistemlerinin özellikle tercih edildiği yüksek yapıların cephe modüllerinin yangın güvenliği açısından tasarımında, yukarıda da bahsedildiği gibi, performans testleri en etkili yöntem olarak görülmektedir. Ancak bu testlerin yüksek maliyetleri zorunlu olmadıkça birçok durumda testten vazgeçilmesine neden olmaktadır. Bu noktada cephe modülünün yangın simülasyonu altında bilgisayar ortamında test edilmesi mümkün olabilmektedir. Yapılan bir araştırma simülasyonların birebir gerçek ortamda karşılaşılacak durumu yansıtmasa da gerçeğe yakınsayabileceğini göstermiştir. **[8]**

Cephe sistemlerinin yangın güvenliği açısından tasarımı konusu araştırma ve inovasyona oldukça açıktır. Yukarıda bahsedildiği gibi birçok tasarım, geometri ve koşul için birçok alternatif çözüm yöntemleri bulunabilir. Örneğin yükselen sıcaklıkla birlikte sodyum-silikat ya da amonyum-fosfat bazlı şişen bantların kullanımı, termal açıdan dayanıklı, ısıyı yansıtabilecek camların kullanımı ve yangın engelleyici yenilikçi malzemelerin kullanımı birçok probleme yardımcı olmaktadır. Her bir yöntem kendi içinde tutarlı olduğu sürece uygulama alanı genişleyecek ve piyasa değeri olan bir ürün haline gelecektir. Yangın geciktirici/engelleyici malzemelerin değerlendirilmesi de yangın güvenliği açısından yeni fikirlerin ortaya çıkmasını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Wade, C. A., & Clampett, J. C. (2000). Fire Performance of Exterior Claddings. *BRANZ Report FCR 1*, (April).

2. White, N., Delichatsios, M., Ahrens, M., & Kimball, A. (2014). Fire Hazards of Exterior Wall Assemblies Containing Combustible Components: Final Report. *The Fire Protection Research Foundation*, *2005*(June), 154pp.

3. Peng, L., Ni, Z., & Huang, X. (2013). Review on the fire safety of exterior wall claddings in high-rise buildings in China. *Procedia Engineering*, *62*, 663–670.

4. CWCT, (2011). Tecnical Note 73: Fire performance of curtain walls and rainscreens. *Center for Window and Cladding Technology*

5. Chambers, N. (2014). CTBUH Technical Paper. *CTBUH Journal*, (Issue II), 6–12.

6. Wang, Y. (2012). Fire Rating Curtain Wall. MA Thesis. TU Delft, 2012

7. HM Government. (2010). Approved Document B: Vol. 2 - Fire safety - Buildings other than dwellinghouses. *The Building Regulations*, *2*, 1–170.

8. Bytskov, G. (2015). Numerical simulation of fire performance and test conditions for façade insulation materials, 1–113.

3.Ulusal
Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi

10-11 Mayıs 2018
İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul

ENGELLİ KULLANICILARIN OLASI YANGIN DURUMUNDA TAHLİYE OLANAKLARI

Furkan ERUÇAR[a]
Yrd. Doç. Dr. Nuri SERTESER[b]
İTÜ Mimarlık Fakültesi
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

ÖZET

Yangın, durum gözetmeksizin tüm kullanıcılar için büyük tehlikeler arz eden bir afettir. Ancak fiziksel veya zihinsel yetersizlikleri olan kullanıcılar olası bir yangın durumunda diğer kullanıcılara kıyasla daha büyük risk altındadır. Bu nedenle engelli kullanıcıların binalardan tahliye olanakları özel bir önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, engelli kullanıcıların tahliye olanakları ile ilgili dünyada yer alan kaynaklardan hareketle yapılması gereken düzenlemeler açıklanmıştır.

Anahtar sözcükler: Yangın, Tahliye, Engelli tahliyesi, Engelli erişimi

ABSTRACT

Fire is a disaster that presents great danger to all users regardless of their situation. However, users with physical or mental deficiencies are at greater risk than other users in case of a possible fire. For this reason, the evacuation of disabled people from the buildings are of special importance. In this study, the arrangements that should be made on the basis of the resources in the world related to the evacuation possibilities of disabled users are explained.

Key words: Fire, Evacuation, Evacuation of disabled occupants, Accessibility of disabled

1.GİRİŞ

İnsanların çoğu, hayatlarının belli bir döneminde geçici veya kalıcı olarak hayatlarını zorlaştıran ve çevre ile etkileşimlerini etkileyen engeller ile yaşamaktadır. Fiziksel veya zihinsel yetersizliğe sahip kişilerin rehabilite edilerek hayata karışmasını teşvik edici faaliyetlerin arttırıldığı günümüzde, bu kişiler için erişilebilirlik kavramı fazlasıyla önem kazanmaktadır.

Binaların tasarım sürecinde engelli bireylerin binaya ve bina içinde ulaşım sorunu yaşamamaları için gerekli yönergeler ve standartlar bulunmaktadır. Bu bireylerin olası yangın durumlarında tahliyesi de bina tasarım süreçlerinde üzerinde dikkatle düşünülmesi gereken önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır.

[a] e-posta adresi: furkan_erucar@hotmail.com
[b] e-posta adresi: serteser@itu.edu.tr

2. KİŞİSEL ACİL DURUM TAHLİYE PLANI (PEEP)

Çeşitli engeli bulunan kullanıcılar için hazırlanan tahliye planlarına "Kişisel Acil durum Tahliye Planı (PEEP)" adı verilir. Bu plan engelli kullanıcılar için binadan tahliye stratejilerini ve gereksinimlerini açıklar[1]. Bu plan hazırlanırken göz önüne alınması gereken bazı ilkeler bulunmaktadır. Bunlar:

- Engelli kullanıcılara çözülmesi gereken birer sorun olarak bakılmamalı
- Kullanıcılar, plan hazırlanırken her adımından haberdar edilmeli
- Kullanıcılara olası tahliye durumunda nasıl bir destek isteyeceği sorulmalı
- Kullanıcılar tahliyeleri hakkında bilgilendirilmeli

Bu plan hakkında bir örnek vermek gerekirse, bir rehabilitasyon merkezinde bir kullanıcı merdiveni kullanırken zorluk yaşamaktadır. Sağlık merkezi yönetimi bu kullanıcı için bir tahliye sandalyesi edinir ve bazı personellerine bu sandalyenin kullanım eğitimini verir. Daha sonra sağlık merkezi yönetimi, kullanıcıyı bu durum hakkında ve hangi personellerin bu eğitimi aldığını bildirir[2].

PEEP hazırlanırken; engelli kullanıcıların bina içindeki dolaşımı, bina içi operasyonel prosedürler, tahliye seçenekleri, binadaki sistemler (örn: yangın alarmları), kullanımda olan tahliye planı dikkate alınmalıdır[3].

3. ENGELLİ BİREYLERİN TAHLİYELERİ HAKKINDA YAPILABİLECEK DÜZENLEMELER

Engellilerin tahliye imkanlarının sağlanması konusunda, Amerikan, İngiliz, İskoç ve İrlanda gibi ülkelerde çıkarılmış talimatnameler, yönergeler ve standartlar bulunmaktadır. Bunlar genellikle ADA (American with Disabilities Act) ve DDA (Disability Discrimination Act) gibi standartlara atıf yapmaktadırlar. Bu belgelerde engelli kullanıcıların durumlarına özel olarak önlemler alınması gerektiği vurgulanmaktadır. Bu kullanıcılar engel durumlarına göre sırasıyla;

- Hareket kabiliyeti olmayan veya sınırlı olan kullanıcılar
- İşitme engelli kullanıcılar
- Görme engelli kullanıcılar
- Zihinsel engelli kullanıcılar
- Konuşma engelli kullanıcılar

olarak sıralanabilir.

3.1. Hareket Kabiliyeti Engeli Bulunan Kullanıcılar

Hareket kabiliyeti olmayan veya kısıtlı olan kullanıcılar genellikle baston, koltuk değnekleri, tekerlekli sandalye gibi ekipmanlar kullanmaktadır. Bu tür kullanıcıların genelde yaşadığı tahliye sorunları;

- Dar alanlarda manevra yapmanın zorluğu
- Eğimli alanlarda hareket zorluğu

- Eşit seviyede olmayan alanlar arasındaki geçişlerde yaşanılan zorluklar
- Belirli bir seviyeden yükseğe erişememe

olarak sıralanabilir.

Bu tür kullanıcılar, yangın alarmlarını, yapılan anonsları duyabilir; yangın ikaz ışıklandırmalarını görebilirler. Bu nedenle yangın durumu bildirimi konusunda özel bir önleme ihtiyaç duymazlar. Hareket kabiliyeti engeli bulunan kullanıcılar için tercih edilen tahliye yöntemleri; bina dışına ya da aynı katta bulunan bir yangın kompartımanına yatay tahliye, yerinde koruma (defend-in-place) stratejisi ve düşey yönde bina dışına ulaşım sağlayan bir yangın tahliye asansörüdür[4]. Yerinde koruma stratejisi ve yatay tahliye stratejileri, kaçış merdivenleri ile bağlantılı olmasa bile bina katını iki veya daha fazla duman sızdırmaz kompartman alanlarına bölmeyi gerektirir. Yani stratejiler, kat düzleminde özellikle duman sızıntısına karşı korunumlu kompartıman alanları oluşturmayı ve bina kullanıcılarının yangında belirli bir süre boyunca hayatta kalabilmeleri için bu kompartman alanları arasında yatay yönde hareketine imkan tanır. Yerinde korumada düşey yönde tahliye aranmadığı ve yatay yönde hareket gereksinimi olması nedeniyle yer değişimi gereken bina kullanıcıları için insan gücüne ihtiyaç duyulur. Söz konusu yöntemler bulunmuyor ve uygulanamıyorsa, hareket engeli bulunan kullanıcıların yangın merdivenlerinden personel tarafından taşınarak indirilmesi gerekir. Burada yardımcı olacak personelin bu konuda eğitim almış olması son derece önemlidir[1,5].

Hareket kabiliyeti kısıtlı olan kullanıcılar için düşey yönde tahliyeyi mümkün kılan bir diğer yöntem ise tahliye sandalyesidir. Bir kişi tarafınan kontrol edilen bu sandalyeler, altındaki kızaklar sayesinde merdivenlerden aşağı kayarak hareket eder. Hafif olması ve kolay kullanılması sayesinde kişilerin hızlı ve güvenli bir şekilde tahliyesine yardımcı olur. Bu yöntem için de yardımcı olacak personelin eğitimi ve bilgilendirilmesi önemlidir.



Şekil 1: Tahliye sandalyesinin kullanımı[1].

Binalarda, birden fazla kaçış yolu bulunabilir. Bazı durumlarda, bu kaçış yollarının sadece bir tanesi hareket engeli bulunan kullanıcılar için uygun şekilde düzenlenmiş olabilir. Böyle durumlarda, hareket engeli bulunan kullanıcılara uygun düzenlenmiş sirkülasyon rotaları erişilebilirlik simgesi ile gösterilmelidir. Ayrıca bu rotalarda harekete yardımcı olmak üzere duvarlara monte edilmiş küpeşteler bulunmalıdır.

3.2. İşitme Engeli Bulunan Kullanıcılar

Bu tür kullanıcılar için kritik nokta, kullanıcıların bir tahliye operasyonu olduğundan haberdar olmasıdır. 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.

Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik'te 81. Maddenin 3. Fıkrasının "a" bendinde bu konu ile ilgili şöyle bir madde bulunmaktadır:

"İşitme engelli kişilerin bulunma ihtimali olmayan alanlarda ışıklı uyarı cihazı kullanılması mecburi değildir."[6]
Bu madde, erişilebilirlik kavramına ters düşmektedir. Doğrusu her alanda her türden kullanıcı bulunabileceği öngörülerek önlem almaktır. Bu sebeple sesli ve ışıklı ikaz sistemlerinin her alanda kullanılması gerekmektedir.

Bazı işitme engelli kullanıcıların olası tahliye anında panik yapabileceği unutulmamalıdır. Bu gibi durumlarla karşılaşıldığında, görevli personeller içinde işaret dili eğitim almış kişiler bulunması büyük fayda sağlar. Bu nedenle işletme yönetimlerinin, görevli personellerinin bazılarına işaret dili eğitim aldırması uygun olacaktır[1].

3.3. Görme Engeli Bulunan Kullanıcılar

Görme yetisi sınırlı olan veya hiç olmayan kullanıcılar, olası bir tahliye anında alarmları ve anonsları duyabilmektedirler. Bu nedenle yangın durumu bildirimi konusunda özel bir önleme ihtiyaç duymazlar.

Görme yetisi sınırlı kullanıcılar genellikle kendileri için yapılacak özel düzenlemelerle tahliyelerini kendi başlarına sağlayabilirler. Bu düzenlemelere örnek olarak;

- Renk kontrastının iyi ayarlanması
- Kaçış yollarında ve kaçış merdivenlerinde küpeştelerin düzenlenmesi
- Merdiven basamaklarının uygun olarak düzenlenmesi
- Kaçış yolları döşemelerinin değişik malzeme ya da değişik renkte malzemelerle kaplanması [7]
- Binadaki kaçış yollarının ve kaçış merdivenlerinin belli edildiği dokunsal planlar düzenlenmesi
- Kaçış yollarının, koridorların mobilyalarla daraltılmaması ve kaygan bir zemine sahip olmaması
- Binada yapılan herhangi bir değişikliğin binada uzun süreli bulunan, bulunacak olan görme engelli kullanıcılara bildirilmesi

Görme engeli bulunan kullanıcıların, bazı durumlarda rehber köpekleri bulunabilir[5]. Bulunmadığı durumlarda, görme yetisi olmayan kullanıcıları güvenli şekilde tahliye etmek personelin görevidir.



Şekil 2: Koridor sonundaki çıkışa ulaşan kaçış yolunun değişik renkte malzeme ile kaplanması [8].

3.4. Zihinsel Engeli Bulunan Kullanıcılar

Zihinsel engeli bulunan kullanıcılar genellikle tahliye kavramını kavramakta zorluk yaşarlar ya da içinde bulundukları riski diğer insanlar gibi algılayamazlar.

Disleksi, dispraksi ya da otizm gibi hastalıkları bulunan kullanıcılar bu sınıfta değerlendirilir. Bu kullanıcılar engel durumlarının farkında olmayabilir. Aynı zamanda bazı durumlarda zihinsel engeli bulunan kullanıcılar hareket zorluğu yaşayarak diğer kullanıcılardan daha yavaş hareket edebilirler. Bu durumda kaçış merdivenlerinde hızlı ve yavaş hat olmak üzere iki hat düzenlenmesi gerekebilir[2].

Bu durumdaki kullanıcılar için alınabilecek bazı önlemler ve düzenlemeler şu şekilde sıralanabilir:

- Tahliye prosedürlerini anlatan resimli kitaplarla bu kullanıcıların tahliye stratejilerini öğrenmeleri sağlanabilir
- Yangın çıkışları ve kaçış koridorları renklerle kodlanarak kullanıcılara bu şekilde öğretilebilir
- Bu durumda bulunan kullanıcıların birinden veya bir grubundan sorumlu personeller görevlendirilerek güvenli tahliyeleri için bir sistem oluşturulabilir
- Tatbikatlarla bu kullanıcıların tahliye gereklerini kavramaları ve olası bir durum için bilinçlendirilmeleri sağlanabilir

Zihinsel engeli bulunan kullanıcılar yangın alarmını ve yapılan anonsları duyabilirler fakat algılama sorunu yaşayabilirler. Bu gibi durumlarda personelin bu kullanıcılara yardımcı olması gerekir.

3.5. 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 bildirimi konusunda özel bir önleme ihtiyaç duymazlar.

Bu kullanıcıların tahliye konusunda yardıma ihtiyaç duydukları anlar olabilir. Bu gibi durumlarda işaret dili bilen personellere ihtiyaç duyulur. Bu nedenle işletme yönetimlerinin, görevli personellerinin bazılarına işaret dili eğitim aldırması işitme engelli kullanıcılarda olduğu gibi konuşma engeli bulunan kullanıcılarda da yardımcı olacaktır[5].

4. SONUÇ

Dünya genelinde, engelli kullanıcıların tahliye ve korunma yöntemlerine büyük önem verildiği görülmektedir. Ülkeler uluslararası çeşitli standartları, kendi yönetmeliklerine göre optimize ederek kullanmaktadırlar. Genellikle "Kişisel Acil Durum Tahliye Planı (PEEP)" hazırlanması tüm ülkelerde tavsiye edilmektedir. Pek çok ülkede binalarda bu planlara göre, engelli kullanıcılara uygun şekilde düzenleme yapıldığı görülmektedir.

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 ülkemizde kullanılan yangın yönetmeliğinde engelli bireylerin 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 ülkemizde kullanılmakta olan "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik" içerisinde engelli kullanıcıların yangından korunması ve tahliyesi konusunda bir başlık açılmalı ve dünya genelinde uygulanan özel düzenlemeler bu bölüm içerisinde yer almalıdır. Böylece engelli kullanıcıların yangın gibi felaketlerden korunması sağlanmış ve olası tahliye durumunda bir kaos yaşanması engellenmiş olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Fire Safety Law – The Evacuation of Disabled People from Buildings, Department of Health, Social Services and Public Safety of UK, (2011).

2. Means of Escape for Disabled People, HM Government of UK, (2007).

3. Evacuation of disabled People, Manchester Metropolitan University – Health and Safety Unit (Revised 2008).

4. Proulx, G. , Yung, D.. "Evacuation Procedures for Occupants with Disabilities in Highrise Buildings", National Fire Laborotary, National Research Council Canada.

5. Emergency Evacuation Planning Guide for People with Disabilities, NFPA, (2016).

6. Türkiye Yangından Korunma Yönetmeliği, TÜYAK Teknik kitaplar dizisi No:7, İstanbul, (2015).

7. Url -1 <https://www.safetyinfo.com/emergency-ada-evacuation-disabled-free-index/> (Son erişim: 19.04.2018)

8. Url -2 <http://arch-henderson-architecture.co.uk/wp-content/uploads/2015/06/COC-Image-05-1024x683.jpg> (Son erişim: 19.04.2018)

3.Ulusal
Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi

10-11 Mayıs 2018
İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul

YÜKSEK BİNALARDA YANGIN GÜVENLİK MÜHENDİSLİĞİ UYGULAMALARI

İlker İBİK[a]
Efectis Era Avrasya Test ve Belgelendirme A.Ş.
Dilovası OSB 5. Kısım Fırat Cad. No:18
41455 Dilovası/Kocaeli

ÖZET

Binalarda yangın esnasında güvenliği sağlamak için geliştiren eylem planları, genellikle kullanıcıların yangına maruz kalan binadan ne kadar hızlı tahliye edildikleri, itfaiyenin ne kadar zamanda yangını kontrol altına alabildiği/söndürdüğü ve yangının çevre binalara sirayet edip etmediği gibi bir grup kriteri temel alır. Yüksek binalarda, bu tarz kriterler genellikle panik, tali hasarlar ve kazalara sebebiyet verir. Bu yüzden yangınla mücadele stratejisinin tamamen farklı olması gerekmektedir; yangın esnasında, sadece yangından direkt etkilenen kullanıcıların tahliye edilmesini ve geri kalan kullanıcıların olabildiğince uzun süre yerlerinde kalmalarını sağlamak. Bu stratejiyi hayata geçirebilmek için ise bir takım konuları dikkate almak gerekecektir; kullanıcılara güven telkin etmek, yangın esnasında sürekli iletişimde kalmak, yapısal güvenliği sağlayarak binanın kısmen veya tamamen çökmesini engellemek, duman ve ısı yayılımını yangın durumu sona erene kadar sürekli kontrol altında tutabilmek gibi... Belirtilen konseptin karmaşıklığı ve gerekli olan güvenilirliğin çok yüksek olması nedeniyle, en yüksek teknolojilerin ve malzemelerin amaca uygun ve kabul edilebilir maliyetli şartlarda uygulanabilmesi için en uygun yöntem, tasarım ve yapım/inşa süreçlerinde yangın güvenlik mühendisliği kullanımıdır.

Anahtar sözcükler: Yangın, Duman, Tahliye, Yangın güvenlik mühendisliği, Tasarım Muayenesi, Modelleme

ABSTRACT

Fire safety is often regarded as how quick can occupants egress, how quick can the fire brigade extinguish the fire and how can we avoid the fire spread in the surrounding. In tall buildings, such an approach leads to panic and accidents. This is why the strategy is fully different: In case of fire, the objective is to limit the egress to the minimum number of occupants in directly affected area, and to enable the other ones to remain safely at their location. In order to reach this, a number of issues need to be addressed, like establishing trust, being able to communicate, avoiding structural collapse, managing the heat and the smoke... Due to the complexity and necessary reliability of the concept, fire safety engineering is the right solution to combine the most advanced technologies and materials to fit the purpose in a cost effective way.

Key words: Fire, Smoke, Egress, Fire safety engineering, Design inspection, Modelling

[a] e-posta adresi: ilker.ibik@efectis.com

1. GİRİŞ

Fransa'da ilk yangın mevzuatının temelleri, 4. Henry' nin 1607 yılında yayınladığı ve Paris şehrinde yangının yayılmasını önlemek amacıyla, caddeler üzerinde bina yapımını geometrik olarak sınırlandıran Kraliyet kararnamesine dayanır. Bu kararnamenin, 1666 yılındaki büyük Londra yangınından hemen sonra, yani 1667 yılında yayımlanan ilave şartları ise, ahşap yapıların alçı sıva ile kaplanması zorunluluğunu, yani ilk malzeme yangına tepki kriterlerinin pratik uygulamasını getiriyordu.

Fransız yönetmeliği **[1]**, Aralık 2011'de yayınlanan son majör değişiklik ile inşaat sektörünün günümüzde geldiği durumun oluşturduğu yeni ve en önemli riski de dikkate alıyordu. Yönetmelik **200 m üzeri** yapıları, "Çok Yüksek Yapı" olarak tanımlayarak bizde "Gökdelen" tabir edilen yapılarla ilgili ilave riskleri belirlemiş ve karşılamaya çalışmış; bu arada "Yüksek Yapı" tanımlamasını da konutlar için **50 m** üzeri, diğer yapılar için ise **28 m** olarak düzeltmiştir.

Bu arada, Temmuz 2015 tarihinde yayınlanarak yürürlüğe giren son ulusal Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik **[2]** (BYKHY) ise, yüksek yapıları **21.5 m** ve üzeri, çok yüksek yapıları da **51.5 m** ve üzeri olarak tanımlamaktaydı.

2. METOT

2.1. Tasarım Süreci

Yapılar için geliştirilen referans standart ve yönetmelikler her zaman prescriptive-koşul temellidir ve normal-standart durumların çözümüne odaklanır. Bu yaklaşım, fabrikasyon, terzi işi olmayan, diğer bir tabirle optimize edilmemiş çözümler sunar. Sonuç olarak, yapı yangın güvenliğini artırmaya yönelik çalışmalar, artık güvenlik odaklı değil, "koşul temelli yönetmelik" odaklı çabalar olarak kalacaktır. Dolayısıyla, sadece yönetmelik koşullarını sağlamaya odaklanan bu yaklaşım, özel yangın güvenlik ihtiyaçları bulunan yapılar, mesela yüksek-çok yüksek yapılar için son derece yetersiz kalacaktır.

Diğer bir yaklaşım ise, performans temelli yangın güvenliği-veya diğer bir tabirle "Yangın Güvenlik Mühendisliği" dir.

Yangın Güvenlik Mühendisliği, beraberinde iki temel avantaj getirir:

- Tasarımcı, tasarımı için risk değerlendirmesi yapar, bu risk değerlendirmesi yetkili otorite tarafından kabul görür ve böylece reel riske dayalı tasarım, yapının bütünsel yangın güvenlik seviyesini artırır.

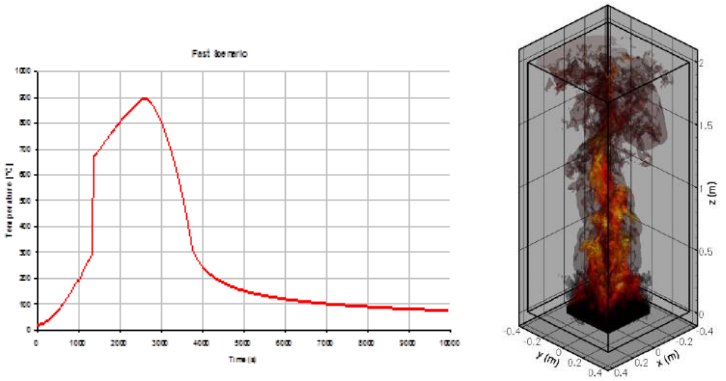
- İlaveten, optimize edilmiş uygulama, her noktada yangın yalıtımı yapılması, aktif yangın güvenlik sistemlerinin eksiksiz kullanımı gibi çözümlere kıyasla %3'e varan maliyet tasarrufları sağlar.

Ancak, bir dezavantajı da vardır; uygulanacak mühendislik metotlarının karmaşıklığı ve dolayısıyla uygulama zorluğu.

Yangın güvenlik mühendisliği ile şu kriterler değerlendirilir **[3]**:

- Yangının gelişimi ve yayılması (ısı ve duman)

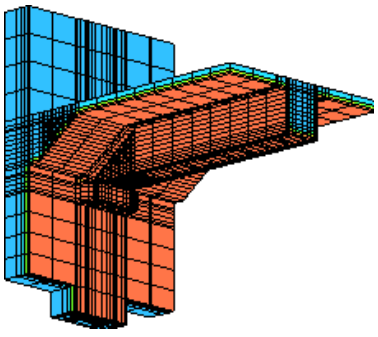
  Yangın güvenlik mühendisliği uygulaması, yangının gelişim ve yayılma sürecini, ısı ve duman kriterleri temelinde değerlendirmek için idealdir. Üzerinde mutabakata varılan en kötü durum senaryosu (worst case scenario) üzerinden yangının gelişimi ve yayılımı **Şekil 1 ve 2**'de görüldüğü gibi CFD yazılımları (Computational Fluid Dynamics, örneğin CAMATT, STREAMAGE, C-FAST, OZONE, FDS) ile modellenir ve değerlendirilir.



Şekil 1 ve 2: Örnek CFD ile yapılmış yangın ve duman gelişimi modellemesi çıktıları

- Isı Transferi

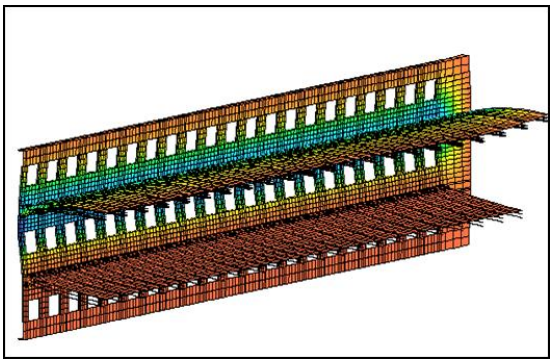
  Belirlenen zaman-sıcaklık eğrisi **Şekil 3**'de görüldüğü gibi modelleme ile yapıya uygulanarak yapısal ısı artışı gözlemlenir (örneğin ANSYS, TASEF, SISMEF, SAFIR, DIANA yazılımlarında ısıl analiz modellemeleri ile)



Şekil 3: Örnek üç boyutlu ısı transferi modellemesi çıktısı

- Yapısal Davranış

  Modellenen-hesaplanan yapı sıcaklığı **Şekil 4**'de görüldüğü gibi artık yapıyı oluşturan malzemelerin termo-mekanik karakteristikleri doğrultusunda yapının artan ısı yükü karşısındaki davranışını belirlemek için kullanılabilir (örneğin ANSYS, DIANA doğrusal olmayan termo-mekanik analiz yazılımları ile)



Şekil 4: Örnek üç boyutlu yapısal davranış modellemesi çıktısı

- Duman ve duman atım/havalandırma yönetimi

  Duman atımı ve havalandırma bir CFD yazılımı ile (örneğin FDS) analiz edilerek **Şekil 5**'deki örnekte görüldüğü gibi pasif ve aktif yangın güvenlik sistemlerinin reel yangın senaryosuna göre adaptasyonu sağlanır.

  Ana prensip, dumanın yangın bölgesinden çıkmasının engellenmesi ve güvenlik bölgesi ve kaçış yollarına temiz hava beslemesinin sağlanmasıdır. Bu amaçla, çıkış merdivenleri, geçiş bölgeleri ve yatay havalandırma alanları arasında pozitif basınç farkı sağlanır ve korunur. Bu uygulama, sadece insanların güvenli bir şekilde bulundukları yerde kalmalarını sağlamaz, aynı zamanda itfaiyenin hızlıca yangın bölgesini ve kaynağını belirlemesine de yardımcı olur. Bu detayda bir duman yönetim sistemi, mutlaka diğer bölmelerden bağımsız ve tam korunmuş bir odadan gerçekleştirilmelidir.



Şekil 5: Örnek üç boyutlu duman atım modellemesi çıktısı

- Kaçış-Çıkış Yönetimi

  İnsanların çıkışları/yangının direkt etkilediği alandan kaçışları **Şekil 6**'daki örnekte görüldüğü gibi FDS-EVAC, PATHFINDER EXODUS vb. yazımlarla benzetim yapılır.

Kaçış, büyük ihtimalle yangından direkt etkilenen bir veya birkaç bölümün boşaltılmasından ibaret olacaktır. Yine de terörist saldırı vb. nedenler de göz önüne alınarak, binanın tam boşaltımı senaryosu da mutlaka değerlendirilmelidir.



Şekil 6: vrEXODUS ile hazırlanmış örnek kaçış modellemesi çıktısı

Bahsettiğimiz tüm araçların doğru kombinasyonu; yapı yangın risk seviyesinin doğru belirlenebilmesi, yangın güvenlik seviyesinin optimizasyonu ile teknik çaba ve maliyetlerin uygun zamanda ve uygun yerlere harcanması sonuçlarını doğuracaktır.

2.2. Yapım – İnşa Süreci

En iyi kalitedeki ürünler bile, üretim tesisinde kriterlere uygun üretilip, şantiyede doğru şekilde monte edilmedikleri sürece, tasarım performanslarına ulaşamazlar. Maliyet ve zaman kısıtları, yetersiz eğitim ve ürün montajının kritik noktalarını anlamakta ve uygulayabilmekte yetersizlik, sıkça düşük performanslı ürünler/sistemlerle karşılaşmamıza sebep olmaktadır.

Çoğu zaman, söz konusu yangın güvenliği olduğunda, yapı sahibi, işletmeci ve hatta teknik kontrol şirketleri/kontrol mercileri dahi kritik hataları gözden kaçırabilmektedir. Ve yapısal dayanımdan bahsederken esasen engellemeye çalıştığımız, yapı yangın güvenliğindeki "zayıf halkalar" olmaktadır.

Bu aşamada yapı sahibi ve/veya proje müellifine 3. taraf yangın güvenlik muayenesi ve belgelendirmesi aracılığıyla uzmanlık ve destek sunabilmek, yangın güvenliğine harcanan emek, zaman ve maliyetin hedefine ulaşabilmesi için çok etkin bir yoldur. Doğru seçilmiş ve yangın dayanım belgeli ürünlerle birleştirildiğinde, bu hizmet "projelendirildiği şekilde inşa edilmiş", dolayısıyla beklenen yangın güvenlik performansını gösteren yapılar ortaya çıkarır.

2.3. Yapı kullanım süreci – Yapı Ömrü

Yapının tasarım ve mühendislik sürecinde yapı kullanım amaçları doğrultusunda kullanıcı yükü, kaçış yolları, maksimum kalorifik yük potansiyeli gibi bazı kritik parametrelerle ilgili kabuller yapılmış bulunmaktadır. Aynı şekilde montajı yapılan aktif sistemler ve uygulanan yapısal yangın yalıtımı için de belirli performans kabulleri yapılmıştır. Ancak yapının kullanım süreci

başladığında, devreye çözümlenmesi ve kontrol altında tutulması gereken bir parametre daha girer: Yapı yaşlanmaya başlar.

Dolayısıyla yapı kullanıcılarının yangın esnasında doğru şekilde davranmalarını sağlamak amacıyla eğitim ihtiyacı doğar (alarm, yangınla mücadele, kapı ve pencere gibi açıklıkların yangında doğru şekilde kullanılması, asansörlerin kullanımı, kat çıkışlarının kullanımı, birinci seviye kaçış tatbikatları vb.).

Bu durumda akredite ve bağımsız 3. taraf muayene, eğitim ve belgelendirme süreci, yapı sahibi, işletmecisi ve yapı kullanıcılarına vazgeçilmez bir fayda sağlar: Güvenlik bilgisi ve bunun getirdiği güven. Tabi ki 3. taraf hizmetleri, yapı sahibinin/işletmecisinin yasal sorumluluğunun yerini almayacak, azaltmayacaktır; ancak yapının ve içindeki insanların/canlıların yangın esnasında güvenliği için gerekli olabilecek her türlü bilgi ve rehberliği sağlayacaktır. Böylece yapı sahibi/işletmecisi, artık sadece doğru tedbirlerin alındığını ummakla yetinmeyecek, doğru tedbirlerin tüm detaylarıyla ilgili bilinçli olabilecektir.

3. SONUÇ

Özellikle yüksek yoğunluklu konutlar, iş yerleri için yüksek binalar ideal bir çözüm olabilir. 3. boyut çoğu kez İstanbul ve benzeri metropoller için inşa edebileceğiniz yegane yöndür. Bu yoğunlukta bir kullanıcı yükü, tabii ki güvenlik risklerini de beraberinde getirecek, yangına müdahaleyi, kaçışı ve daha birçok parametreyi yönetilmesi zor hale sokacaktır.

Ancak aşağıdaki:

- Tasarım
- Yapım

ve en az diğerleri kadar önemli

- Yapı Kullanım

süreç ve yönetim yöntemlerini dikkate almaya devam ettiğimiz sürece, yüksek yapıların doğurduğu yangın riskleri halen kontrol edilebilir pozisyonda bulunacaktır:

KAYNAKLAR

1. Fransız Devlet Kararnamesi, *Yüksek Binalarda Yangın ve Panik Risklerine Karşı Güvenlik Yönetmeliği'nin onaylanmasına dair,* 30 Aralık 2011.

2. Resmî Gazete, Tarih: 09/07/2015 Sayı: 29411, *Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik'te değişikliğe dair*, 16/03/2015 tarihli Bakanlar Kurulu Kararı.

3. ISO 23932: 2009, *Yangın Güvenlik Mühendisliği – Genel Prensipler*

3.Ulusal
Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi

10-11 Mayıs 2018
İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul

PLANLI ALANLAR İMAR YÖNETMELİĞİ UYGULAMALARI VE YÖNETMELİKTE ENERJİ ETKİNLİĞİNİN YERİ

Ayşe Şahin[a]
Doç. Dr. Fatih Yazıcıoğlu[b]
İTÜ Mimarlık Fakültesi
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

ÖZET

İmar mevzuatı, yapı tasarımını etkileyen ve yapılı çevrelerin şekillenmesinde önemli rol oynayan düzenlemeler olmaları sebebiyle inşaat sektörü için önem arz etmektedirler. Türkiye'deki yapılaşma ve yapı kurallarına ilişkin çerçeveyi içeren Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği (PAİY), Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nca oluşturulmuş, 3 Temmuz 2017 tarihli Resmi Gazete 'de yayımlanarak, 1 Ekim 2017'de yürürlüğe girmiştir. Türkiye'deki yapı tasarımının belirleyicilerinden olan PAİY hükümleri, yalnızca metin olarak yayımlandığından uygulamada farklı yorumlamalar ile karşılaşılmaktadır. Bu çalışmanın amacı PAİY'de yapılaşmaya ilişkin metin olarak açıklanan kuralları, şekil ve tablolar ile destekleyerek, yönetmeliğin daha açık ve anlaşılır hale getirilmesine katkı sağlamak ve PAİY'in binalarda enerji etkinliğinin sağlanmasına yönelik maddelerini tanıtmaktır. Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği 1 Ekim 2017'den itibaren tüm Türkiye'de geçerli olduğundan bu yönetmeliğin açık ve anlaşılır olması yapı sektörünün aktörleri için önem taşımaktadır. Bunun yanında enerjiye olan talebin gün geçtikçe artması, enerji kaynaklarının sınırlı ve pahalı olması yönetmeliklerin enerji etkin yapıların tasarım ve uygulamasını teşvik eden maddeleri içermesini gerekli hale getirmiştir. Çalışmada PAİY'in kotlandırma, bahçe tesviyeleri, taban alanı, katlar (emsal) alanı, bahçe mesafeleri gibi yapılaşmaya ilişkin hükümleri analiz edilerek bu hükümler şekil ve tablolar ile açıklanmaya çalışılmış ve PAİY'in yapılarda enerji etkinliğinin sağlanmasına ilişkin maddeleri incelenmiştir.

Anahtar sözcükler: Türkiye'de İmar Mevzuatı, Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği(PAİY), Yapılaşma, PAİY'de Enerji Etkinliği

ABSTRACT

Zoning Legislation have become more of an issue for construction sector because of affecting the building design and composing the regulations that play an important role in the formation of built environments. The New Zoning Regulation for Planned Areas (PAİY), which comprises the frame with respect to constructing and construction rules in Turkey, was published in the Official Gazette of 3 July 2017 by the Ministry of Environment and Urban Planning and it entered into force on the 1st of October 2017. As they have been published only in the textual format the provisions of PAİY, which are among the determiners of building design, have confronted with different interpretations when it comes to their practice. The aim of this study is to contribute the regulations' becoming more clear and comprehensible with the help of charts and figures explaining the rules regarding to constructing, which has been represented in the textual format in PAİY and to introduce the articles of PAİY devoted to the obtainment of energy efficiency in buildings. In this study, the provisions of PAİY related to constructing such as ground level definition, garden grading, building footprint, calculation of the floor area and garden lengths are intended to be explained by analyzing these provisions with charts and figures and the articles of PAİY devoted to the obtainment of energy efficiency in buildings are examined.

Key words: Zoning Legislation in Turkey, Zoning Regulation for Planned Areas (PAİY), Constructing, Energy Efficiency in PAİY

[a] e-posta adresi: ayse.sahin.ayse@gmail.com
[b] e-posta adresi: fyazicioglu@gmail.com

1.GİRİŞ

Şehirleşme ve şehircilik hareketleri çağımızın önemli olguları arasında yer almaktadır. Hızlı kentleşme ile birlikte ortaya çıkan sağlıksız yapılaşma, altyapı eksikliği ve çevre sorunları sonucunda insanlar kalitesiz yaşam koşullarına maruz kalmaktadır. Hızlı şehirleşmenin getirdiği problemlere çözüm bulma çabaları sonucunda Kamu Hukukunun içerisinde yeni bir hukuk dalı olarak İmar Hukuku doğmuştur. Ülkemizde ise, İmar Hukuku daha çok belediyelerin imar uygulamalarını kapsar [**1**].

Günümüzde hızlı nüfus artışının kentlere getirdiği sorunların çözümü, binalarda kamu kontrolü konularının organizasyonu ve işleyişindeki başarı ile doğru orantılıdır [**2**]. Kamu kontrolünün başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi ise binalara ait mimari projelerin mevzuata uygun bir şekilde tanzim edilmesine bağlıdır. Fakat aşağıda özetlendiği üzere mevzuatta sık sık değişimler yaşandığından gerek mimari proje çizen ya da proje onayı yapan teknik elemanların mevzuat takibindeki eksiklikleri, gerekse imar mevzuatının sadece metin olarak yayımlanıp çizimlerle desteklenmemesi sebebiyle, mevzuat hükümleri yoruma açık hale gelmektedir. Bu durum mimari proje müellifleri ile belediyede kontrol yapan teknik elemanların değerlendirmeleri arasında ciddi uzlaşmazlıkların ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Bunların sonucundaysa mimari projelerin onaylanma süreci uzamakta, ekonominin lokomotifi olan inşaat sektöründe yatırım ortamı negatif yönde etkilenmektedir.

Türkiye'de imar mevzuatının arka planı incelenecek olursa; 1956 yılında yürürlüğe giren 6785 sayılı İmar Kanunu'nun ihtiyaca cevap vermemesi nedeniyle 1972 yılında 1605 sayılı Kanun ile bazı maddeleri değiştirilmiş ve bazı maddeler ilave edilmiştir. 6785/1605 sayılı İmar Kanunu ile yönetmelikleri de o zamanın koşullarında yetersiz kalınca, 3194 sayılı İmar Kanunu ve bu Kanun ile birlikte belediyelerin planlı bölgelerinde uygulanmak üzere Belediyeler Tip İmar Yönetmeliği 9 Kasım 1985 tarihinde yürürlüğe konmuştur. Bu yönetmelik Ankara, İstanbul ve İzmir Büyükşehir Belediyeleri için geçerli olmamış, bu şehirlere kendi yönetmeliklerini hazırlama yetkisi verilmiştir [**1**].

Ankara, İstanbul ve İzmir kendi İmar Yönetmeliklerini uygulamaktayken 01/06/2013 tarihinde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nca tüm Türkiye'de geçerli olmak üzere Planlı Alanlar Tip İmar Yönetmeliği çıkarılmıştır. Bu yönetmelikte 08/09/2013, 14/09/13, 22/05/2014, 14/11/2015, 05/02/2016, 08/12/2016 tarihlerinde değişiklikler yapılmış ve ülkemizde 4 yıl boyunca çoklu yönetmeliklere tabii olunmuştur.

Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği (PAİY) ile 01/06/2013'den beri dört yıldır süren çoklu yönetmeliklere tabi olma durumu sınırlandırılmıştır. Sadece 01/10/2017'den önce riskli yapı tespiti yapılmış ya da riskli alan kapsamına alınmış ve maliklerin en az üçte ikisi ile noter onaylı kat karşılığı inşaat sözleşmesi düzenlenmiş parseller için yapılan müracaatlarda 01/10/17 tarihinden önce yürürlükte olan yönetmeliklerin kullanılabilmesine izin verilmiştir. Bu istisna dışında 1 Ekim 2017 tarihinden itibaren Türkiye'de artık sadece PAİY geçerli olmuştur.

Türkiye'deki yapı tasarımının belirleyicilerinden olan PAİY hükümleri, yalnızca metin olarak yayımlandığından uygulamada farklı yorumlamalar ile karşılaşılmaktadır. Bu çalışmanın amacı PAİY'de yapılaşmaya ilişkin metin olarak açıklanan kuralları, şekil ve tablolar ile destekleyerek,

yönetmeliğin daha açık ve anlaşılır hale getirilmesine katkı sağlamak ve PAİY'in binalarda enerji etkinliğininin sağlanmasına yönelik maddelerini tanıtmaktır.

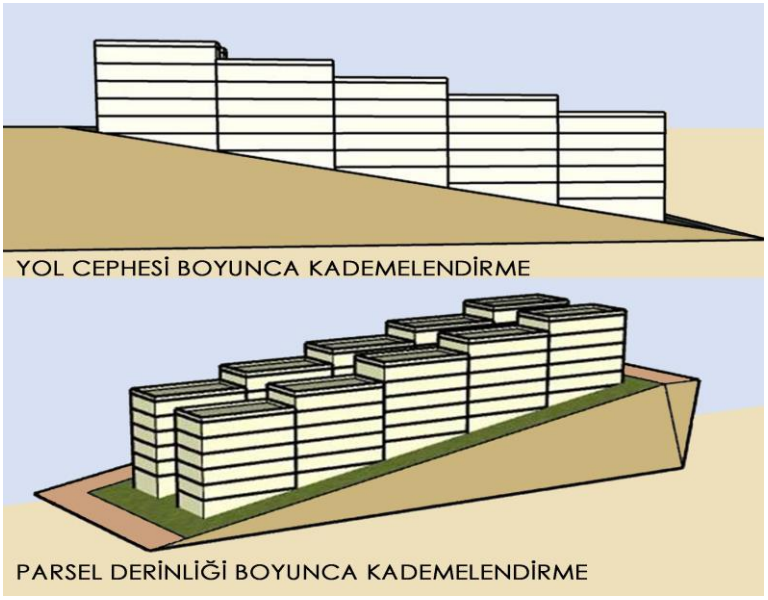
2. PLANLI ALANLAR İMAR YÖNETMELİĞİ: YAPILAŞMAYA İLİŞKİN HÜKÜMLER

PAİY'de yapılaşmaya ilişkin hükümler; yol genişliklerine göre bina kat adetleri, kotlandırmalar, bahçe tesviyeleri, taban alanı, katlar alanı, bahçe mesafeleri, bir parselde birden fazla bina yapılması, eksik katlı bina yapılması ve yapılaşmada idarenin yükümlülükleri başlıkları altında ele alınmaktadır. Çalışmanın bu bölümünde kotlandırmalar, bahçe tesviyeleri, taban alanı, katlar (emsal) alanı ve bahçe mesafelerine ilişkin yönetmelik maddeleri analiz edilerek şekillerle açıklanmaya çalışılacaktır.

2.1. Kotlandırmalar

Binalara kot verilmesi ile ilgili olarak; imar planlarında aksine bir hüküm bulunmaması halinde yoldan kotlandırma esastır. Bunun yanında kot alınan noktanın tespitinde sokak silueti dikkate alınır [**3,** Md. 10(1,2)].

Binalara parselin kot aldığı yol cephesinin bina köşeleri hizasındaki en yüksek tretuvar seviyesinden kot verilir [**3,** Md. 11(1)]. Parselin kot aldığı yolun eğiminden dolayı zemin kat taban kotunun kot alınan noktaya göre en fazla 3.50 metre yükseldiği noktalarda binalarda kademe yapılması mecburidir [**3,** Md. 11(5)]. Her kademe, cephe boyunca 4.50 metreden aşağı olamaz. Son kademenin 4.50 metreden az olması durumunda bir önceki kademe seviyesine uyulur [**3,** Md. 11(6)]. Yoldan kotlandırılan binalarda yoldan düşük olan parsellerin arka köşe noktalarının en düşük yol kotundan 3.50 metreden daha fazla kot farkı olması durumunda bina derinliği boyunca kademe yapılır [3, Md. 11(7)] (**Şekil 1,2**).



Şekil 1: Yol cephesi ve parsel derinliği boyunca kademelendirme örneği



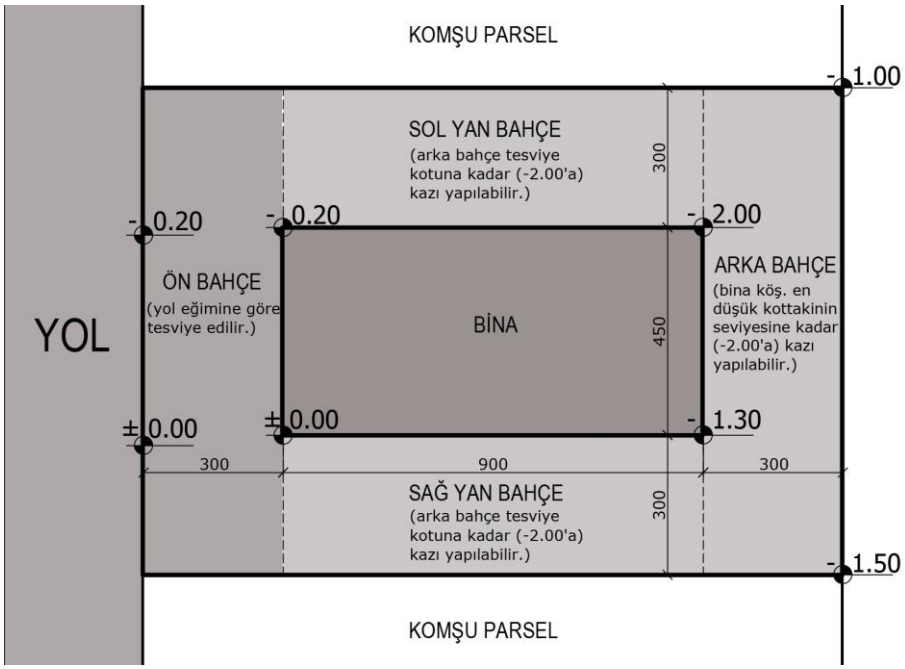
Şekil 2: Yol cephesi boyunca kademelendirme örneği

2.2. Bahçe Tesviyeleri

PAİY'de bahçe tesviyeleri ön, yan ve arka bahçeler için ayrı ayrı açıklanmaktadır. Yola cephesi olan bütün bahçeler ön bahçe statüsündedir [**3,** Md. 4(jjj)]. Ön bahçelerde parsel sınırı ile bina cephesi arasında kalan kısımlar yol eğimine göre, kaldırım seviyesine tesviye edilir [**3,** Md. 16(a)] (**Şekil 3**).

Arka bahçelerdeki tesviyeler ile ilgili olarak; tabii zemini ±0.00 kotunun üstündeki arka bahçe zemininin bu kota kadar kazılması esastır [**3,** Md. 18(1)]. Tabii zemin kotu ±0.00 kotunun altında kalan arka bahçelerde bina köşelerinden en düşük kottakinin seviyesine kadar kazı yapılabilir [**3,** Md. 18(2)] (**Şekil 3**). Arka bahçelerde 2.00 metreden fazla olmamak ve (±0.00) kotunu geçmemek koşuluyla dolgu yapılabilir [**3,** Md. 18(3)].

Yan bahçelerdeki tesviyeler ile ilgili olaraksa; arka bahçe tesviye kotu ±0.00 kotundan düşük ise yan bahçelerde, ön ve arka bahçeler arasında uyum sağlayacak şekilde ve hiçbir biçimde arka bahçe tesviye kotunun altına inilmemek koşuluyla tesviye yapılabilir [**3,** Md. 17(1)] (**Şekil 3**). Arka bahçe tesviye kotu ±0.00 kotundan yüksek ise yan bahçelerde ±0.00 kotunun altına inilmemek koşuluyla tesviye yapılabilir [**3,** Md. 17(2)]

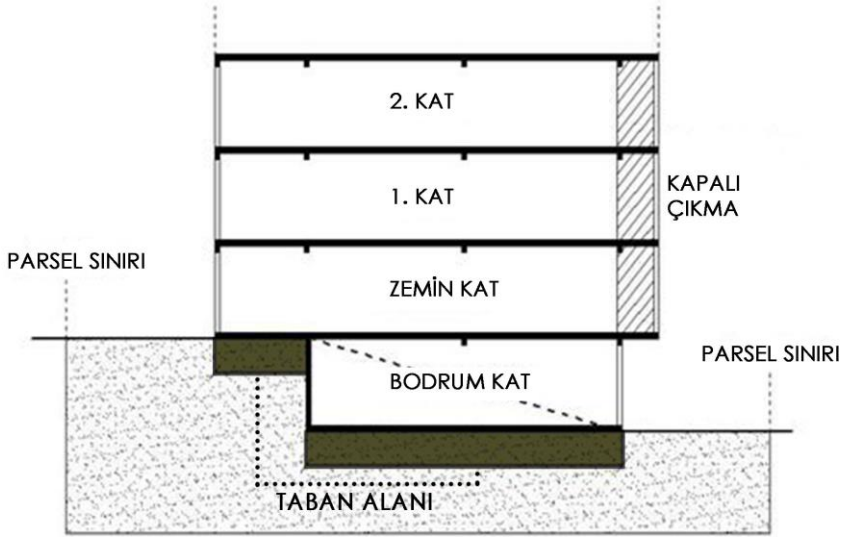


Şekil 3: PAİY'e göre ön, yan ve arka bahçelerde yapılabilecek tesviyeler

2.3. Taban Alanı

Taban alanı; bahçede yapılan eklenti ve müştemilat dâhil olmak üzere yapıların tabii zemin veya tesviye edilmiş zemin üzerinde kalan kısmının, yapı yaklaşma sınırını ihlal etmemek kaydıyla parseldeki izdüşümünün kapladığı alandır (**Şekil 4**).

Tabii veya tesviye edilmiş zemin üzerinde etrafı açık bırakılarak kolonlar üzerinde inşa edilen yapılarda taban alanı, zemine oturan en dış çeperlerdeki kolonların dış yüzeylerinin en kısa doğru parçalarıyla birleştirilmesiyle belirlenen alandır [**3,** Md. 20(1)].



Şekil 4: Taban alanı (koyu renkli bölüm taban alanı içerisindedir) [**4**]

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. [**3,** Md. 5(6)]. Taban alanına dâhil edilmeyen kullanımlar PAİY Md. 20(8)'de açıklanmaktadır.

2.4. Katlar (Emsal) Alanı

Katlar alanı; bodrum kat, asma kat, çatı arası piyesi ve açık/kapalı çıkmalar dâhil, kullanılabilen bütün katların, katlar alanına dâhil edilmeyen alanları çıktıktan sonraki alanları toplamıdır [**3,** Md. 22(1)]. PAİY Md. 5(8)'e göre bir parsel için kullanılabilecek emsal harici tüm alanların toplamı; parselin toplam emsale esas alanının %30'unu aşamaz. Ancak bazı istisnalar aşağıda belirtilmektedir.

Hangi katta yapılırsa yapılsın %30 hesabına dâhil olmayan (doğrudan emsal dışı) alanlar; minimum ölçülerdeki yangın merdiveni, yangın güvenlik holünün 6 m²'si, son katın üzerindeki ortak alan teras çatılar ve yapının ihtiyacı için bahçede yapılacak açık otoparklardır.

Bodrum katlarda %30 hesabına dâhil olmayan alanlar; otopark alanlarının 2 katı ve gömülü otoparklar, sığınak, asansör boşlukları, bacalar, şaftlar, ışıklıklar, ısı ve tesisat alanları, su deposu, jeneratör ve enerji odası, kömürlükler ve kapıcı dairelerinin asgari alanları, depo amaçlı eklentiler, mescit ve müştemilatlar, çocuk oyun alanları ve tamamen gömülü ortak alanlardır.

Emsale dâhil alanın %30'unu aşmamak üzere yapılabilecek emsal harici alanlar PAİY Md. 22'de açıklanmaktadır. Aşağıda PAİY'e uygun düzenlenmiş örnek bir emsal hesap çizelgesi yer almaktadır (**Çizelge 1**).

Çizelge 1: PAİY'e göre yapılmış örnek bir emsal hesap çizelgesi

arazi alanı: 2312 m²
emsal: 2.5

2312*2.5 = 5780 m²

	brüt alan	doğrudan emsal dışı	%30 kapsamında emsal dışı	emsale dahil alan
2. bd.	1000	1000	0	0
1. bd.	1000	700	300	0
zemin	500	50	70	380
1. nk.	600	50	100	450
….	….	….	….	….
12. nk	600	50	100	450
toplam	9700	2350	1570	5780

brüt alan = doğrudan emsal dışı + %30 kapsamı +emsale dahil alan

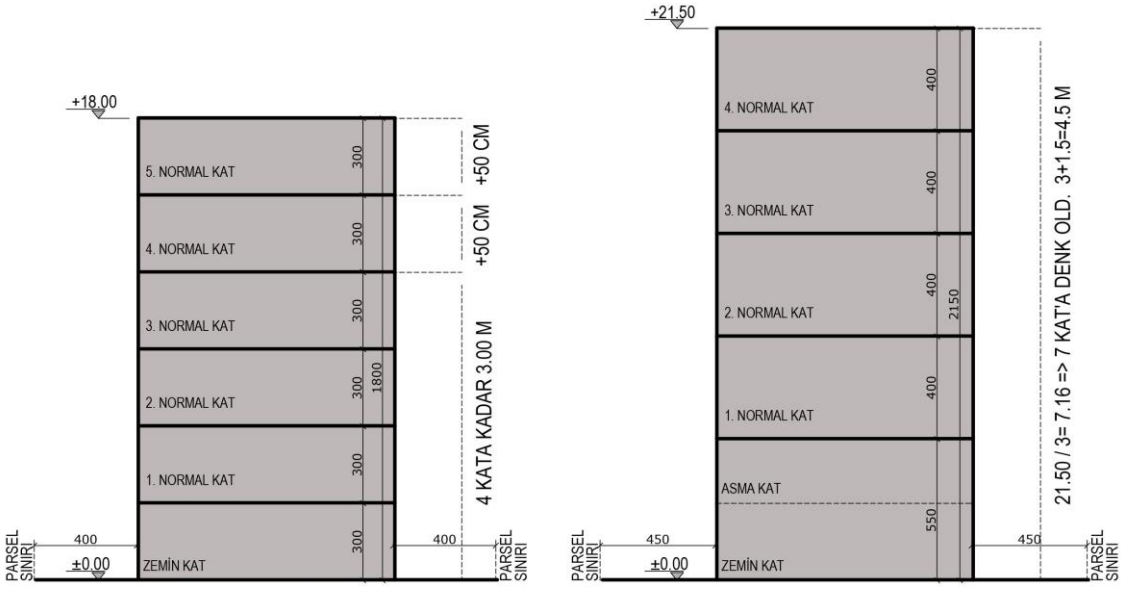
%30 kapsamındaki alan toplamının kontrolü yapılmalı.

5780x30/100=1734 m² 1734 >1570 olduğundan uygundur.

2.5. Bahçe Mesafeleri

Uygulama imar planında, aksine bir hüküm bulunmadığı durumlarda; Ön bahçe mesafesi en az 5.00 metredir. Yan ve arka bahçe mesafeleri ise en az 3.00 metredir [**3,** Md. 23(1a,b)]. Yan ve arka bahçe mesafeleri; tabii veya tesviye edilmiş zeminin üzerinde kalan bodrum katları da dâhil, dörtten fazla katlı binalarda 4 katın üzerindeki her kat için 0.50 metre artırılır. Bu hüküm parsellerin park alanına komşu cephelerinde uygulanmaz [**3,** Md. 23(1ç)] (**Şekil 5**).

Yan ve arka bahçe mesafelerinin hesabında dikkate alınacak kat adedi o cephede kısmen veya tamamen tabii veya tesviye edilmiş zeminin altında kalan katlar hariç diğer katların toplam yüksekliğinin üçe bölünmesi ile bulunur [**3,** Md. 23(1d)] (**Şekil 6**).



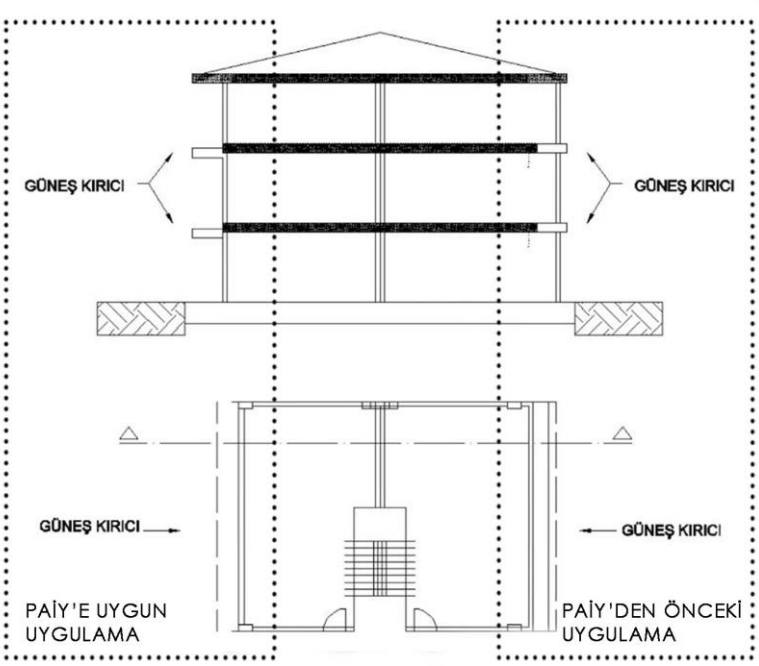
Şekil 5,6: PAİY'e uygun bahçe mesafeleri

Yapılı çevrelere yeşil alan entegrasyonunun sağlanabilmesi için; konut, konut+ticaret, turizm, eğitim, ibadet, sağlık ve spor parsellerinin bahçe mesafelerinde, binanın zemine oturduğu alanın dışında kalan alanın her 30 m²'si için bir ağaç dikilmesi zorunlu hale getirilmiştir [**3,** Md. 23(6)].

3. PLANLI ALANLAR İMAR YÖNETMELİĞİ'NDE ENERJİ ETKİNLİĞİNİN YERİ

Planlı Alanlar İmar Yönetmeliğinin amacı; plan, fen, sağlık ve sürdürülebilir çevre şartlarına uygun yapı ve yapılaşma ile projelendirmeye ve denetime ilişkin usul ve esasları belirlemektir [**3,** Md. 1]. PAİY içerisindeki enerji etkinliğine ilişkin maddelere ulaşabilmek için Yönetmeliğin tamamı incelenmiş bunun yanında yönetmelik içinde 'sürdürülebilir', 'enerji', 'güneş paneli' ve 'fotovoltaik' anahtar kelimeleri ile tarama yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda yönetmelik içerisinde enerji etkinliğine ilişkin aşağıda yer alan hükümlere ulaşılmıştır.

Önceki imar yönetmeliklerinden farklı olarak PAİY'e güneş kırıcının tanımı eklenmiştir. Güneş kırıcı; yapının bölümlerine güneş ışığını kontrollü bir şekilde alabilmek ve mekânlara gölge sağlamak amacı ile kat döşemesinin devamı niteliğinde olmayan ve hafif malzeme kullanılarak yapılan, cephe bütünlüğü içinde konumlandırılmış, cepheden bağımsız olmayan, otomatik veya el ile kontrol edilebilen, sabit veya hareketli cephe elemanı olarak tanımlanmıştır [**3,** Md. 4(ee)]. 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 yapılabileceği ifade edilmiştir [**3**, Md. 41(4)]. Böylelikle PAİY'den önce güneş kırıcılar projesine aykırı bir şekilde kullanım alanına dâhil edilip suistimal edilebilmekteyken, yeni düzenlemeyle bunun önüne geçilmiştir (**Şekil 7**).



Şekil 7: PAİY'e uygun ve PAİY'den önceki güneş kırıcı uygulaması

Yapı ruhsatı talep edilen projelerin enerji verimliliği ve çevreye ilişkin mevzuata uygun olması gerektiği yönetmelikte şu şekilde yer almıştır: Yapı ruhsatı talep edilen projelerde ayrıca; afet, deprem, yangın, otopark, enerji verimliliği, sığınak, asansör, yapı malzemeleri, gürültüye karşı korunma, ısı ve su yalıtımı, yapı denetimi, iş güvenliği, iskele, erişilebilirlik ve çevre gibi konulardaki yapıya ilişkin hükümler içeren mevzuata da uyulur [**3,** Md. 5(20)]. Yapıda 5/12/2008 tarihli ve 27075 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'nde belirtilen binada zorunlu olarak bulunması gereken birimler, asgari ölçülerde yapılır [**3,** Md. 27(1ç)].

Yönetmelikte '…enerji verimliliği sistemlerinin bulunduğu alanlar, arıtma tesisi, gri su toplama havuzu…' gibi alanların katlar alanına dâhil edilmediği, dolayısıyla bu gibi alanların satılabilir ya da kiralanabilir alanın dışında yapılabileceği belirtilmiştir [**3,** Md. 22(1i)] Bu hüküm de yapılarda enerji etkinliğinin teşvik edildiğinin bir göstergesi olarak nitelendirilebilir.

Eksik katlı yapılar ile ilgili olarak; ‘Eksik katlı yapılan binalarda yapı ruhsatı, yapı kullanma izin belgesi ve enerji kimlik belgesi yapılan kısım için düzenlenir. Daha sonradan tamamlanmak istenmesi halinde, yürürlükteki plan ve mevzuat hükümlerine uygun olarak ilave kat ruhsatı alınması ve binanın tamamı için enerji kimlik belgesi düzenlenmesi zorunludur.’ [**3,** Md. 25(2)] Eksik katlı binalara imar planına aykırı olmamak koşuluyla kat ilavesi yapılabilmesi için; ...enerji verimliliği mevzuatına uygun olması… zorunludur [**3,** Md. 25(3)].

Pencereler hakkında; pencerelerde Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğine ve TSE standartlarına uyulmasının zorunlu olduğu belirtilmiştir [**3,** Md. 39(3)]. Çatılarda fotovoltaik panel uygulamasına yönelik; ‘…çatı eğimi içinde kalmak ve silüeti etkilememek kaydıyla çatı örtüsü olarak fotovoltaik paneller de kullanılabilir’ maddesi eklenmiştir [**3,** Md. 40(2)].

Yönetmelikte merdiven evleri, ışıklıklar ve hava bacalarının belirlenen çatı gabarisini en fazla 0.60 metre aşabileceği belirtilmiş fakat güneş enerjili su ısıtıcılarının çatı örtüsünü aşmasına esneklik getirilerek ilgili idarece teknik gereklere göre uygun görülecek ölçü ve şekilde izin verilebileceği belirtilmiştir [**3,** Md. 40(5)].

Bodrum katlarda enerji etkinliğinin sağlanması ile ilgili; ‘Toprağa dayalı tüm bodrum katlarda, dış etkilere karşı ısı ve su yalıtımı yapılması zorunludur.’ [**3,** Md. 51(6)] hükmü eklenmiştir.

Yönetmeliğe ‘…binalarda enerji kimlik belgesi sınıfı en az "C" olacak şekilde mesleki yeterlilik sertifikalı uygulayıcılar tarafından yapılacak ısı yalıtımı uygulamaları ile binanın kendi ihtiyacı için yapılacak güneş kaynaklı yenilenebilir enerji sistemleri ruhsata tabi değildir…’ [**3,** Md. 59(2)] maddesi eklenmiş ve enerji etkinliğine hizmet eden sistemlerin binalara entegrasyonunda belediye prosedürleri azaltılarak, yapılarda enerji etkinliğinin sağlanması teşvik edilmiştir.

‘…Yapı inşaat alanı 1000 m2’den az olan binalar hariç diğer binalarda binanın enerji performansını değiştirecek her türlü tadilatın sonunda binanın enerji performansını ortaya koyan enerji kimlik belgesinin yeniden düzenlenmesi zorunludur. Enerji kimlik belgesi düzenlenmemiş binalarda yapılacak tadilatlarda ve ruhsata tabi olmasına rağmen ruhsat alınmaksızın inşa edilen yapıların… ruhsat ve yapı kullanma izni işlemlerinde de enerji kimlik belgesi düzenlenmesi şarttır.’ [**3,** Md. 64(8)] maddesi de yönetmelikte enerji kimlik belgesine ve dolayısıyla da yapılarda enerji tasarrufuna önem verildiğinin bir göstergesidir.

4. SONUÇLAR

Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği 1 Ekim 2017’den itibaren tüm Türkiye’de geçerli olduğundan bu yönetmeliğin açık ve anlaşılır olması yapı sektörünün aktörleri için önem taşımaktadır. Bunun yanında enerjiye olan talebin gün geçtikçe artması, enerji kaynaklarının sınırlı ve pahalı olması yönetmeliklerin enerji etkin yapıların tasarım ve uygulamasını destekleyen hükümleri içermesini gerekli hale getirmiştir. Çalışmada PAİY’in kotlandırma, bahçe tesviyeleri, taban alanı, katlar (emsal) alanı, bahçe mesafeleri gibi yapılaşmaya ilişkin hükümleri analiz edilerek bu hükümler şekil ve tablolar ile açıklanmaya çalışılmış ve PAİY’in yapılarda enerji etkinliğinin sağlanmasına ilişkin maddeleri incelenmiştir.

İmar mevzuatının yapılı çevrenin üretim sürecinde aktif rol oynayan uygulayıcıların görüş ve önerileri dikkate alınarak katılımcı süreçlerle hazırlanması gerekmektedir. Mevzuatta sıklıkla değişiklikler yapılması, mer'i yönetmelik tam olarak anlaşılmadan, yenisinin yürürlüğe girmesi yönetmeliğin kullanıcılarında kafa karışıklığı oluşmasına sebep olmaktadır. Belli şartları taşıyan parsellere eski yönetmeliklerden faydalanma imkânı sunulması, bir bölgede aynı kurallara bağlı olması gereken yapılaşmada, farklı kuralların uygulanmasına, dolayısıyla düzensiz yapılaşmaya yol açmaktadır.

PAİY hükümleri sadece metin olarak yayımlanıp çizimlerle desteklenmediği için, yönetmelik yoruma açık hale gelmektedir. Bu durum mimari proje müellifleri ile belediyede kontrol yapan teknik elemanların değerlendirmeleri arasında ciddi uzlaşmazlıkların ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Bunların sonucundaysa mimari projelerin onaylanma süreci uzamakta, ekonominin lokomotifi olan inşaat sektöründe yatırım ortamı negatif yönde etkilenmektedir. Bu gibi sorunların çözümü ve binalara ait mimari projelerin mevzuata uygun bir şekilde tanzim edilebilmesi için yönetmeliğin çizimler ve tablolar ile desteklendiği bu tür çalışmaların yaygınlaşması ve kamuoyu ile paylaşılması gerekmektedir.

Günümüz şartlarında kentlerin artık ekolojik dengeleri, yeşil alanları korumayı ve enerji etkin tasarım ve uygulamayı göz ardı ederek planlanması mümkün değildir. Kentsel gelişimin sürdürülebilir ve hayat kalitesini yükseltecek şekilde kurgulanabilmesi için mevzuatın artan nüfus, enerji ihtiyacı, akıllı teknolojiler ve bilimsel yöntemler esas alınarak hazırlanması gerekmektedir. PAİY'de enerji etkinliği önceki yönetmeliklere göre daha fazla yer bulabilmiştir. PAİY'in enerji etkinliğine atıflar yaparak konuyla ilgili tanımları bünyesinde bulundurması bu yönetmeliğin yapılarda enerji etkinliğini desteklediğinin bir göstergesi olarak yorumlanabilir fakat PAİY'in Türkiye'yi tek iklim bölgesinden oluşuyormuş gibi ele alması ve Türkiye'nin farklı iklim bölgelerindeki yapılaşmaya ilişkin herhangi bir hüküm içermemesi yönetmelikteki en önemli eksikliklerden biri olarak nitelendirilebilir.

TEŞEKKÜR

1. Kütüphanesindeki imar mevzuatına ilişkin kaynakları benimle paylaştığı, mesleki hayatıma katkıları ve yol göstericiliği için Sayın Mehmet Erdönmez'e çok teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

1. M. Abama, Açıklamalı İçtihatlı İmar Kanunu Mevzuatı ve Uygulaması. Seçkin Yayınevi, Ankara (1984), pp: 7, 723.
2. Ç. Demirel Eren, Yüksek Binalarda Kamu Kontrolü ve İstanbul için Öneriler (Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, (1996),
3. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği, 03/07/2017 tarih 30113 sayılı ve 30/09/2017 tarih 30196 sayılı Resmi Gazete (2017).
4. S. Armağan, Çizimlerle Planlı Alanlar Tip İmar Yönetmeliği Uygulamaları, Yerel Mevzuat Eğitim ve Yayıncılık, Ankara (2014), pp: 395.

3.Ulusal
Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi

10-11 Mayıs 2018
İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul

UYUM GÖSTEREN CEPHE TEKNOLOJİLERİNİN FARKLI İKLİMLERDE KULLANILABİLİRLİĞİNE İLİŞKİN BİR İNCELEME

Y. Mimar Mine Koyaz [a]
Prof. Dr. Aslıhan Ünlü Tavil [b]
İTÜ Mimarlık Fakültesi
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

ÖZET

Günümüzün değişen koşullarında, enerji etkin bina tasarımlarının önemi bir kez daha ön plana çıkmaktadır. Sürekli gelişen teknolojiler ile çevresine uyum gösteren, değişken, dinamik, cephe tasarımlarına ilişkin son yıllarda dünyadaki örneklerin sayısının arttığı görülmektedir. Uyum gösteren cepheler çevreye duyarlı tasarımın önemli bir parçası haline gelirken, literatürde bu konu ile ilgili yapılmış çalışmalar oldukça fazla olsa da belirli bir sınıflandırma sistematiğine oturmamaktadır. Yapılan çalışmada, ilk olarak farklı sınıflandırma bileşenleri bütüncül bir bakış açısı ile bir araya getirilmektedir. Sonrasında, dünya üzerinde farklı iklim bölgelerinde yer alan, teknolojinin yüksek oranda kullanıldığı mevcut uyum gösteren yapılar araştırılmakta, ortaya koyulan sınıflandırma sistematiği üzerinden analiz edilmektedir. Yapılan inceleme sonucunda, güncel gelişen teknolojiler, bileşenler ve malzemelerin sunduğu olanaklar ortaya koyulmakta, farklı iklimlerde kullanılabilirlikleri irdelenmektedir. Elde edilen sonuçların literatürde karmaşık bir şekilde yer alan bilgiyi sistematize ederek, çevreye duyarlı yapı tasarımı sürecinde kullanılabilecek bir tasarım destek aracı olması amaçlanmaktadır.

Anahtar sözcükler: Uyum gösteren cephe, Cephe teknolojileri, Çevreye duyarlı tasarım, Sınıflandırma sistematiği, Tasarım destek aracı

ABSTRACT

The importance of energy efficient building design has come into prominence with today's evolving conditions. Over the last decade, with the ever developing technologies, the number of climate adaptive, kinetic or dynamic façade design examples around the world have been increased. Although adaptive facades have been an important part of environmental conscious building design, the literature about them is complex and scattered. That's why first of all, different parameters systematically gathered together, a framework for classification is presented. Then different adaptive façade examples, from different climates are explored and used technologies are analyzed over defined classification parameters. Finally, the opportunities of different technologies, components or materials are revealed and their usability at different climates are discussed within the context of facade performances. The aim of this work is to systematically present the information on adaptive facades with a holistic approach, towards creating a design support tool for climate adaptive building design process.

Key words: Adaptive facade, Facade technologies, Environmental conscious design, Classification systematics, Design support tool

[a] e-posta adresi: minekoyaz@gmail.com, mine.koyaz@bilgi.edu.tr
[b] e-posta adresi: aslihan.tavil@gmail.com, tavil@itu.edu.tr

1. GİRİŞ

İklimsel koşullar ve çevre ile uyum, her zaman mimari tasarımı etkileyen en önemli parametrelerden olmuştur. Günümüzün gelişen malzeme ve teknolojileri, beraberinde değişen yaşam koşulları ile sürdürülebilir tasarım anlayışı yeni bir boyut kazanmakta, enerji etkin yapı tasarımlarına verilen önem artmaktadır. Bu noktada iki ana tasarım stratejisinden söz edilebilir; pasif veya aktif sistemlerin kullanımı. Geleneksel bakış açısı ile çevreye duyarlı yapı tasarımında, pasif sistemler yapı ile çevre arasında bir bariyer oluşturmakta, kullanıcı gereksinimlerinin sağlanmasında yetersiz kalınan noktada ise aktif sistemler devreye girmektedir. Uyum gösteren bina kavramı ise geleneksel tasarım sürecine yeni bir bakış açısı getirerek, yapının sürekli değişen çevresel koşullara cevap vermesi ve kendini değiştirmesi prensibini ortaya koymaktadır.

Günümüzde uyum gösteren binalar ile ilgili birçok çalışma yapılmakta ancak literatürde oldukça dağınık bir biçimde yer almaktadır. Bildiri kapsamında ilk olarak, konu ile ilgili yer alan çalışmalar derlenerek, bir sınıflandırma sistematiği ortaya koyulmaktadır. Sonrasında dünya genelinde bu bakış açısı ile yapılmış, mevcut bina örnekleri incelenmekte ve karşılaştırmalı olarak analiz edilmektedir. Uyum gösteren cephe sistemlerinin yer aldığı binalar, bulunduğu iklim bölgesi bağlamında, kullanılan stratejiler, kullanılan teknolojiler ve ilgili performanslar ile ilişkili olarak irdelenmektedir. Böylelikle ortaya koyulan ilişkiler ile, mevcut uyum gösteren cephe teknolojilerinin tanıtılması ve özellikle Türkiye ölçeğinde yenilikçi cephe tasarımlarına yol gösterici olması amaçlanmaktadır.

2. UYUM GÖSTEREN CEPHELER

2.1. Tanım

Uyum gösteren cephe kavramı, *değişken, dinamik, kinetik, duyarlı, ileri teknoloji, yenilikçi, aktif, akıllı, etkileşimli, dönüşen, esnek* gibi sıralanabilecek birçok farklı kavramlarla literatürde yer bulmaktadır [**1**][**2**][**3**][**4**][**5**].

Araştırmacılar tarafından farklı bakış açılarından ele alınarak farklı kelimeler ile ifade edilse de, uyum gösteren cephe kavramının özü, *Facade Construction Manual* kitabında ifade edildiği gibi, bir cephenin kullanıcı gereksinimlerini sağlamak için iç ortam koşullarını manipüle etmek üzere değişebilecek şekilde tasarlanması, olarak tanımlanabilir [**6**]. *Kolarevic ve Parlac* ise uyum gösteren kabuk tasarımının enerji akışlarının daha etkin yönetilmesi ve binanın performansının iyileştirilmesinde ana etken olduğunu ifade etmektedir [**3**]. Diğer bir tanım ise, uyum göstermeyi, değişen çevresel koşullar altında, iç konfor koşullarını sağlamak için, bina kabuğunun işlevini, özelliğini veya davranışını, tekrarlanabilir ve tersine çevrilebilir şekilde değiştirmesi olarak ortaya koymaktadır [**1**][**2**].

Geniş bir ölçekten bakıldığında uyum gösterme kavramı yalnızca iklime duyarlı olmayı değil kullanıcı, nesne gibi farklı etkenler karşısında ve farklı ölçeklerde değişkenlik gösterebilme durumunu içermektedir [**7**]. Ancak çalışma kapsamında ortaya konulan ve ele alınan uyum gösterme biçimi kullanıcı konfor koşulları üzerinden tanımlanmakta, bu nedenle yapı fiziği bağlamında iklimle etkileşim içerisinde olmayı gerektirmektedir. Bu iklimsel parametreler, gün ışığı, güneş ışınımı, dış hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgar ve yağış olarak tanımlanabilir.

2.2. Sınıflandırma

Literatürde yer alan farklı sınıflandırma başlıkları bir araya getirilerek bütüncül bir bakış açısı ile oluşturulan sınıflandırma sistematiği aşağıda sunulmaktadır [**8**]. Sınıflandırma bileşenlerinin ilk grubu binanın uyum gösterme özellikleri (Çizelge 1), ikinci grubu ise performans özellikleri (Çizelge 2) ile ilişkili başlıkları içermektedir.

– Uyum Gösterme Özellikleri

Çizelge 1: Uyum Gösteren Binalar için Sınıflandırma Bileşenleri 1 - Uyum Gösterme Özellikleri

Hiyerarşi Seviyesi [6][7][9][10]	**Tepki Gösterilenin Tanımı** [7]	**Uyum Gösterme Ölçeği** [1][8]	**Konumu** [6][8][11][12]	**Hareket Biçimi** [3][4][8]	**Tepki Süresi** [1][2][8][9]
- *Bina* - *Taşıyıcı Sistem* - *Kabuk Sistemi* - Düşey Eleman - Yatay Eleman - Opak Bileşen - Saydam Bileşen - Malzeme	- Kullanıcı - İklim - Nesne	- Mikro - Makro	- Dışarıda - Ortada - İçinde	- Mekanik - Hidrolik - Pinömatik - Malzeme (nitelik değiştiren / enerji değiştiren)	- Kısa - Orta - Uzun
Kontrol Biçimi [1][2][8][9][13]	**Görünürlük** [2][9]	**Uyum Gösterme Aşaması** [2][9]	**Uyum Gösterme Biçimi** [14]	**Kinetik Tipoloji** [12][15]	**Kinetiklik Sınırı** [12]
- Dışsal - İçsel	- Yok / Az - Orta - Çok	- Açık/Kapalı - Kademeli - Doğrusal	- Statik - Dinamik	- Bütünleşik - Dinamik - Dağıtılabilir	- Sınırlı - Orta - Majör - Değişken

Bu grup altında yer alan başlıklar, binanın uyum gösterme biçimini tanımlamaya yönelik kullanılan özellikleri içermektedir. İlk olarak uyum göstermenin hangi *hiyerarşi seviyesinde* meydana geldiği, sistemler yaklaşımı ile; bina – sistem – eleman – bileşen – malzeme ölçekleri üzerinden tanımlanmıştır. Uyum gösterme yapının tamamında, taşıyıcı sisteminde, kabuk sisteminde, düşey elemanlarında diğer bir değişle cephesinde, yatay/eğimli elemanında yani çatısında, elemana ait opak veya saydam bileşende veya malzeme ölçeğinde geçekleşebilmektedir [**6**][**7**][**9**][**10**]. Yapının neye *tepki gösterdiği*; kullanıcı, iklim veya nesne olarak sınıflandırılmıştır [**7**]. Bildiri kapsamında bu parametrelerden yalnızca iklimsel etkiler karşısında uyum gösteren bina örnekleri ele alınmaktadır.

Uyum gösterme ölçeği mikro ve makro olarak tanımlanmıştır [**1**][**8**]. Hiyararşi seviyesinde ele alınan ölçek ile benzerlik gösterse de, burada yapılan tanımlama, işlev, özellik veya davranış değişiminin malzeminin iç yapısında veya bileşen düzeyinde meydana gelmesi durmunu ifade etmektedir. Örnek olarak, faz değştiren malzemenin hiyerarşik olarak opak bileşenlerde kullanıldığı bir binada, uyum göstermenin ölçeği makro olarak sınıflandırılmaktadır. Uyum gösteren bileşenin *konumu*, binanın sınırlarının dışında, içinde veya kabuğun içerisinde yani ortada yer alması biçimde sınılandırılmıştır [**6**][**8**][**11**][**12**]. Uyum göstermenin binanın bütünü veya taşıyıcı sisteminde meydana geldiği örnekler için bu sınıflandırma geçerli değildir.

Bir diğer sınıflandırma başlığı, bir etki karşısında ortaya çıkan *hareketin biçimini* ifade etmektedir. Mikro ölçekteki uyum göstermeler için mekanik, hidrolik veya pinömatik, makro ölçek için ise nitelik değiştiren veya enerji değiştiren malzeme olarak tanımlanmıştır [**3**][**4**][**8**]. *Tepki süresi*, farklı sınıflandırma yaklaşımları üzerinden kısa, orta ve uzun olarak gruplandırılarak ortaya

koyulmuştur [**1**][**2**][**8**][**9**]. Kısa sürede meydana gelen tepki saniyeler veya dakikalar içerisinde, orta sürede meydana gelen tepki saatler veya günlük döngüde, uzun sürede meydana gelen tepki ise mevsimsel veya yıl içerisinde oluşan değişimleri kapsamaktadır. *Kontrol biçimi* ise uyum göstermenin dışarıdan bir kontrol veya otomasyona bağlı olarak devreye girmesi, ya da kendiliğinden malzemenin iç yapısı ile ilişkili olarak gerçekleşmesi arasındaki farklılığı ortaya koymaktadır [**1**][**2**][**8**][**9**][**13**]. *Görünürlük* başlığı uyum göstermenin dışarıdan bakıldığında ne derece algılanabilir olduğuna ilişkin değerlendirmeyi ortaya koymaktadır [**2**][**9**]. Yok veya az görünürlük malzeme ölçeğinde gerçekleşen ve gözle neredeyse görülemeyen değişimleri, orta görünürlük bileşen düzeyinde ve çok görünürlük eleman düzeyinde meydana gelen değişimleri ifade etmektedir.

Uyum göstermenin meydana geliş şekli, açılıp kapanma biçiminde, kademeli olarak değişme veya etkiye bağlı doğrusal tepki gösterme olarak *uyum gösterme aşaması* başlığı altında sınıflandırılmıştır [**2**][**9**]. *Uyum gösterme biçimi* ise statik veya dinamik olarak tanımlanmıştır[**14**]. Literatürde yer alan ve uyum gösteren bina olarak tanımlanan örneklerin büyük bir kısmı aynı zamanda dinamik olarak tanımlansa da görünür hareketin meydana gelmediği, durağan ancak binanın malzeme ölçeğinde veya elemanın tasarlanışı özelinde yapının çalışma biçiminde çevreye etkilere bağlı olarak statik uyum göstermesi de söz konusudur. Gündüz güneş ışınlarının etkisi altında ısı depolayan bir duvarın gece depoladığı ısıyı iç ortama vermesi, statik bir uyum gösterme örneği olarak ele alınabilir.

Son iki sınıflandırma başlığı kinetik yapılar için yapılan sınıflandırma yaklaşımlarından uyarlanmıştır. *Kinetik tipoloji,* uyum gösteren öğenin yapı ile bütünleşik, yapının bir parçası halinde ancak ayrı çalışan dinamik veya yapıdan ayrı olarak da yer alabilen dağıtılabilir olma durumunu içermektedir [**12**][**15**]. Son olarak, *kinetiklik sınırı,* yapının değişkenlik sınırlarını kullanılan sistemler ile ilişkili olarak tanımlamaktadır. *Ramzy ve Fayed* bu bağlamda, gölgeleme elemanları gibi yapı kabuğuna entegre sistemleri sınırlı, toplanabilir/açılabilir yapı elemanlarını orta, döner bina veya birimleri majör, biomekanik sistemleri ise değişken kinetiklik sınıfına sahip olarak sınıflandırmaktadır [**12**].

– Performans Özellikleri

Çizelge 2: Uyum Gösteren Binalar için Sınıflandırma Bileşenleri 2 – Performans Özellikleri

Performans [1][2][8][9][13][16][17][18]	**Etki** [8][19]	**Mekanizma** [2][9][19]	**Tepki** [8][19]
- Işık (görsel konfor) - Isı (ısıl konfor) - Hava (iç hava kalitesi) - Dayanım (çevresel etkilere) - Enerji - *Manzara* - *Medya*	- Gün Işığı - Güneş Işınımı - Dış Hava Sıcaklığı - Bağıl Nem - Rüzgar - Yağış	- Kabul etmek - Reddetmek - Düzenlemek - Toplamak - Dönüştürmek	- Gün Işığı / Güneş Işınımı Geçirgenliği - Isıl Direnç / Kütle - Havalandırma Oranı - Su / Hava Geçirimsizlik

Bu grup altında yer alan başlıklar, uyum gösteren binanın performansı ile ilişkili özelliklerini içermektedir. Performans parametreleri farklı kaynaklarda farklı biçimlerde yer almaktadır [**1**][**2**][**8**][**9**][**13**][**16**][**17**][**18**]. Oluşturulan sınıflandırma sistematiğinde ise, binanın iç konfor koşulları ile ilişkili fiziksel parametreler üzerinden, *ışık, ısı, hava, dayanım, enerji* olarak tanımlanmıştır. Uyum gösteren bir binanın kullanıcı ile etkileşimli olması durumunda *manzara* veya nesne ile ilişkili olması durumunda *medya* gibi farklı performanslar da söz konusu olabilir,

ancak çalışma kapsamında yapılan sınıflandırma iklime duyarlı sistemler ile sınırlandırılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde yapılan analizlerde, mevcut uyum gösteren cephe örnekleri, farklı iklimlerde söz konusu performansların sağlanması için kullanılabilecek farklı tasarım stratejileri üzerinden incelenmiştir. Bu bağlamda tanımlanan stratejiler; *gölgeleme, güneş ışınımı kazancı, ısı yalıtımı, ısı depolama, ısı köprüsü kontrolü, nem ile soğutma, doğal havalandırma, su ve rüzgar gibi çevresel etkilere dayanım ve güneşten yararlanarak enerji üretimi* olarak sıralanmıştır.

Uyum gösterme en temel şekli ile, değişen koşul(lar) altında değiştirilen özellik(ler) olarak tanımlanabilir. Ross ve diğ. bu süreci, etki – mekanizma – tepki olarak tanımlamaktadır [**19**]. Etki, cephenin uyum göstermesine neden olan koşulları ifade etmektedir. Bu başlık altında *gün ışığı, güneş ışınımı, dış hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgar, yağış* gibi iklimsel parametreler sıralanmıştır [**8**]. Mekanizma, söz konusu etki karşısında verilecek tepkinin amacını ortaya koymaktadır ve kabul etmek, reddetmek, düzenlemek, toplamak, dönüştürmek şeklinde sıralanmıştır [**2**][**9**]. Tepki ise, cephede değişen özelliği ifade etmektedir. Bu başlık altında *gün ışığı / güneş ışınımı geçirgenliği, ısıl direnç / kütle, havalandırma oranı, su / hava geçirimsizlik* gibi performans ile ilişkili özellikler sıralanmıştır [**8**].

3. BİNA ÖRNEKLERİ ÜZERİNDEN UYUM GÖSTERME VE PERFORMANS ANALİZİ

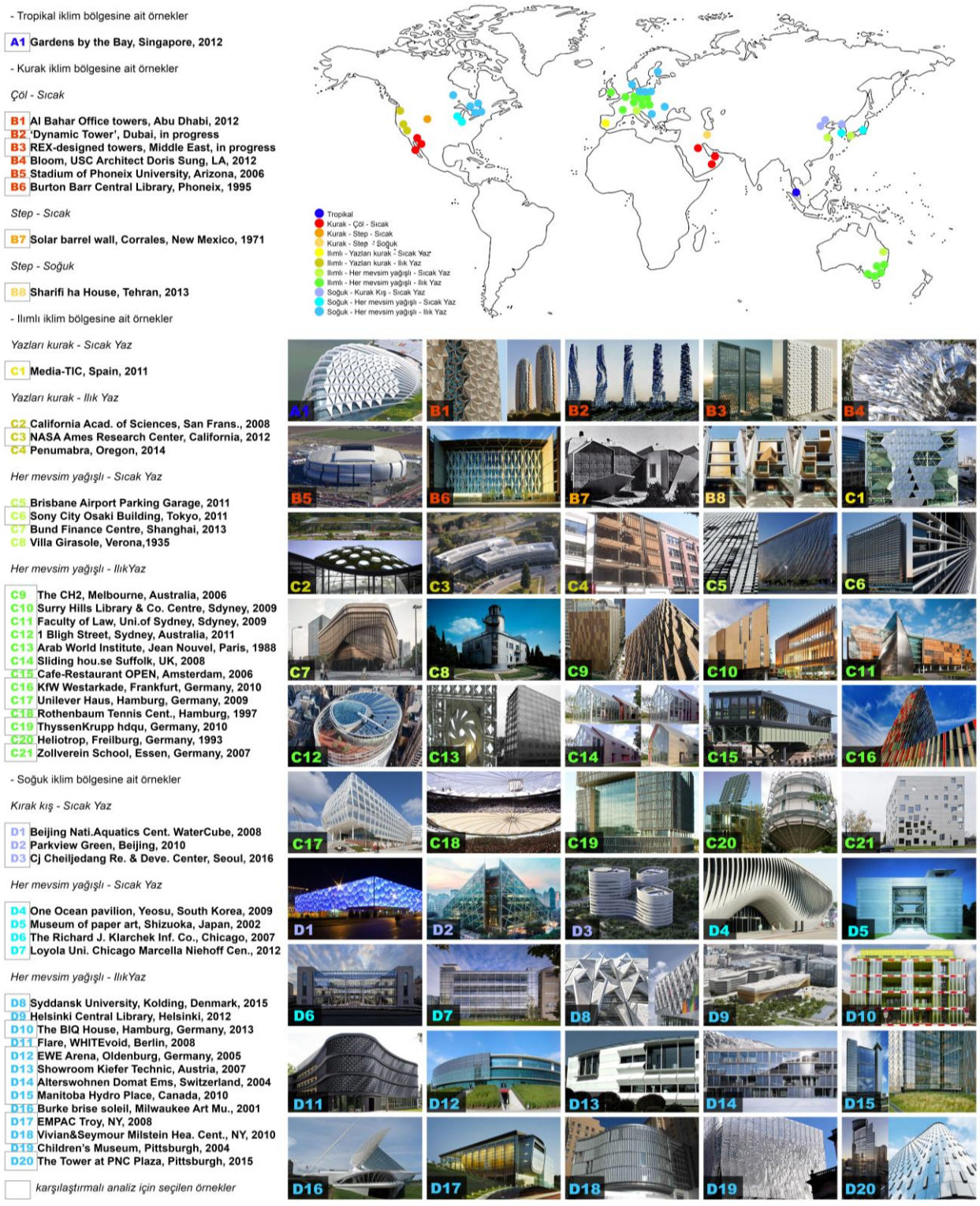
3.1. Uyum Gösteren Cephe Örnekleri

Dünyanın farklı yerlerinde yer alan, literatürde *uyum gösteren, dinamik, iklime duyarlı, akıllı, kinetik* olarak tanımlanan bina örnekleri bir araya getirilerek Şekil 1'de sunulan dünya haritası üzerinde işaretlenmiştir [**1**][**3**][**4**][**5**][**11**][**21**][**22**][**23**][**24**]. Ele alınan binalar, *Köppen-Geiger* iklim sınıflandırılması referans alınarak bulundukları iklimler ile ilişkilendirilmiş, renk kodları verilerek tanımlanmış ve numaralandırılmıştır [**20**]. Yapılan tarama kapsamında 50 adet bina örneğini ele alınmıştır. Bu örnekler içerisinden, uyum gösterme hiyerarşisi binanın taşıyıcı sistemi veya yatay elemanı olanlar ile henüz prototip aşamasında olanlar kapsam dışı bırakılarak, işaretlenmiş 35 adet bina, karşılaştırmalı analizi yapılmak üzere seçilmiştir.

Dünya genelindeki tabloya bakıldığında, iklime duyarlı, uyum gösteren cephe sistemlerinin çoğunluğunun ılımlı ve soğuk iklim bölgelerinde yer aldığı görülmektedir. Bunun nedeni, söz konusu iklimlerin yaz ve kış koşulları arasındaki farklılıkların, enerji etkin bina tasarımında bu değişken koşullara cevap veren teknolojilere olan ihtiyacı doğurduğu şeklinde yorumlanabilir. Bunun yanı sıra, uyum gösteren cephe sistemlerinin uygulamalarına ilişkin örneklerin en çok Almanya'da olmak üzere, çoğunlukla Avrupa, Asya, Avustralya ve Amerika kıtalarında görüldüğü söylenebilir (Şekil 1).

3.2. Karşılaştırmalı Analiz

Çalışma kapsamında analiz edilmek üzere seçilen bina örnekleri, ilgili bilgiler derlenerek ilk aşamada yukarıda tanımlanan başlıklar üzerinden sınıflandırılmış, ikinci aşamada ise yer aldıkları iklim bölgeleri üzerinden kullanılan tasarım stratejileri ve teknolojiler analiz edilmiştir. Yapılan incelemede gölgeleme sistemleri, havalandırmalı çift cidarlı giydirme sistem, gibi bazı cephe teknolojilerinin birçok yapıda birden kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu bağlamda analiz kapsamında mevcut binalarda yer alan teknolojiler gruplandırılarak kullanılan farklı sistemler tanımlanmış ve



Şekil 1: Uyum Gösteren Bina Örnekleri, Dünya Üzerinde Yerleri ve İklimleri

bu sistemlerin sınıflandırma sistematiği üzerinden uyum gösterme özellikleri ortaya koyulmuştur (Çizelge 3). Kullanılan teknolojilerin büyük çoğunluğunu güneş kontrol sistemlerinin oluşturduğu

görülmektedir. Bu sistemlerin binanın dışında veya çift cidarlı giydirme cephe sisteminin ortasında yer aldığı farklı örneklerden söz edilebilir. Sistem, başta iklim ile ilişkili olarak bina otomasyonunun kontrolünde, gün ışığının düzeyi, güneş ışınımının şiddeti ve yönüne bağlı olarak uyum gösterse de, kullanıcı ile etkileşimde olduğu örnekler de yer almaktadır. Uyum gösterme ölçeği makro, hareket biçimi genellikle mekanik (bazı örneklerde hidrolik), tepki süresi kısa ve kontrol biçimi dışarıdandır. Çevresel etmenler karşısında hareket eden dinamik bir sistemdir, farklı görünürlük düzeylerinde ve uyum gösterme biçimi açık/kapalı, kademeli veya doğrusal olabilmektedir.

Çizelge 3: İncelenen Örneklerde Kullanılan Teknolojilerin, Uyum Gösterme Özellikleri Üzerinden Sınıflandırılması

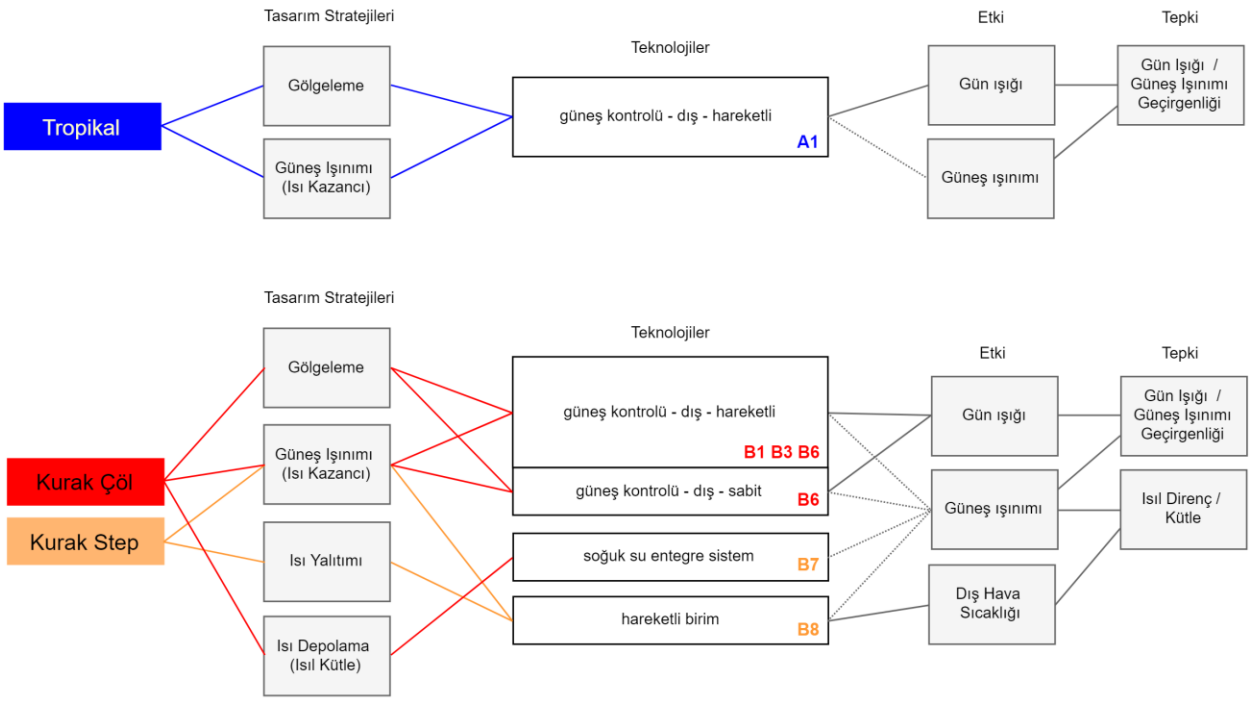
TEKNOLOJİLER	**Güneş kontrol sistemleri dış / orta / iç**	**çift cidarlı cephe + açılır pencere / hav. menfezi**	**ETFE yastık / membran**	**sıcak / soğuk su entegre sistem**	**hareketli kabuk / birim**	**entegre fotovoltaik paneller**	**yenilikçi malzemeler**
Hiyerarşi Seviyesi	Saydam Bileşen	Düşey Eleman	Kabuk Sistemi	Düşey Eleman	Taşıyıcı Sistem	Saydam Bileşen	Malzeme
Tepki Gösterilenin Tanımı	Kullanıcı İklim	İklim	İklim	İklim	Kullanıcı İklim	İklim	İklim
Uyum Gösterme Ölçeği	Makro	Makro	Makro	Makro Mikro	Makro	Makro	Mikro
Tepki Gösterenin Konumu	Dışarıda Ortada İçinde	Ortada	Dışarıda Ortada	Ortada	Ortada	Ortada	Dışarıda Ortada
Hareket Biçimi	Mekanik Hidrolik	Mekanik	Pinömatik	Malzeme	Mekanik	Mekanik	Malzeme
Tepki Süresi	Kısa	Orta	Orta	Uzun	Kısa	Kısa	Orta
Kontrol Biçimi	Dışsal	Dışsal İçsel	Dışsal İçsel	Dışsal	Dışsal	Dışsal	İçsel
Görünürlük	Az - Çok	Yok	Yok -Az	Yok	Çok	Orta	Yok -Az
Uyum Gösterme Aşaması	Açık/Kapalı Kademeli Doğrusal	Doğrusal	Kademeli Doğrusal	Açık/Kapalı	Açık/Kapalı Kademeli	Kademeli	Kademeli Doğrusal
Uyum Gösterme Biçimi	Dinamik	Statik Dinamik	Dinamik	Statik	Dinamik	Dinamik	Statik
Kinetik Tipoloji	Dinamik	Bütünleşik	Dinamik	Bütünleşik	Dağıtılabilir	Dinamik	Bütünleşik Dinamik
Kinetiklik Sınırı	Sınırlı	Sınırlı	Sınırlı	Sınırlı	Majör	Orta	Sınırlı
ADET	**29 / 35**	**19 / 35**	**4 / 35**	**4 / 35**	**2 / 35**	**1 / 35**	**2 / 35**

Bir diğer sık kullanılan cephe teknolojisi ise açılır pencere ve/veya havalandırma menfezlerinin yer aldığı çift cidarlı giydirme cephe sistemleridir. Bu sistemin de, güneş kontrol sistemleri ile benzer şekilde, uyum gösterme ölçeği makro ve kontrol biçimi dışarıdandır. Havalandırma menfezlerinin kontrolü veya pencerelerin dış koşullara bağlı olarak açılıp kapanması prensibi göz önüne alındığında, sistemde hem statik hem de dinamik bir uyum gösterme söz konusudur. Sistem, bina ile bütünleşiktir ve gündüz-gece veya yaz-kış koşullarına adapte olacak şekilde tepki süresi değişken biçimde tasarlanabilmektedir. Bunun yanı sıra, mevcut binalarda kullanılmış ve Çizelge 3'te sunulan diğer cephe teknolojileri; bina kabuğunda yer alan ETFE yastık veya membran sistemleri, yapı elemanına entegre sıcak veya soğuk suyun ısı depolama veya nem ile soğutma

amaçlı kullanıldığı sistemler, hareketli kabuk veya birimler, binaya entegre fotovoltaik paneller ve yenilikçi malzemeler şeklinde sıralanabilir.

Mevcut binalarda kullanılan uyum gösteren cephe teknolojileri ortaya koyulduktan sonra, bu sistemlerin farklı iklimlerde kullanılabilirliklerinin irdelenmesine yönelik, incelenen örnekler performans özellikleri bağlamında sınıflandırılmıştır. Buna bağlı olarak her bir yapı; bulunduğu *iklim*, performans ile ilişkili uygulanan tasarım *stratejisi*, kullanılan *teknoloji*, *etki* eden çevresel parametre ve cephenin verdiği *tepki* sonucu değişen özelliği üzerinden analiz edilmektedir. Oluşturulan ilişki ağları, tropik, kurak, ılımlı ve soğuk olmak üzere 4 ana iklim üzerinden gruplandırılarak incelenmektedir (Şekil 2-3-4).

İncelenen mevcut binalar içerisinde tropikal iklim bölgesine ait yalnızca bir örnek olduğu için, iklim üzerinden bir genelleme yapılaması mümkün değildir. Ancak incelenen örnekte güney doğrultusunda gölgeleme stratejisiyle, bina kabuğunun dışında yer alan, hareketli, parametrik güneş kontrol sistemi kullanılmıştır (Şekil 2). Gök koşullarına göre gün ışığı düzeyi, güneş ışınımı şiddeti ve yönüne bağlı olarak, bina kabuğu gün ışığı / güneş ışınımı geçirgenlik düzeyini değiştirermektedir. Böylelikle iç ortamın aydınlık düzeyi ve kamaşmanın kontrolü ile görsel konfor ile ilgili, aynı zamanda istenmeyen ısı kazançlarının önüne geçilerek ısıl konfor ile ilgili performans bağlamında da uyum gösterme sağlanmaktadır.

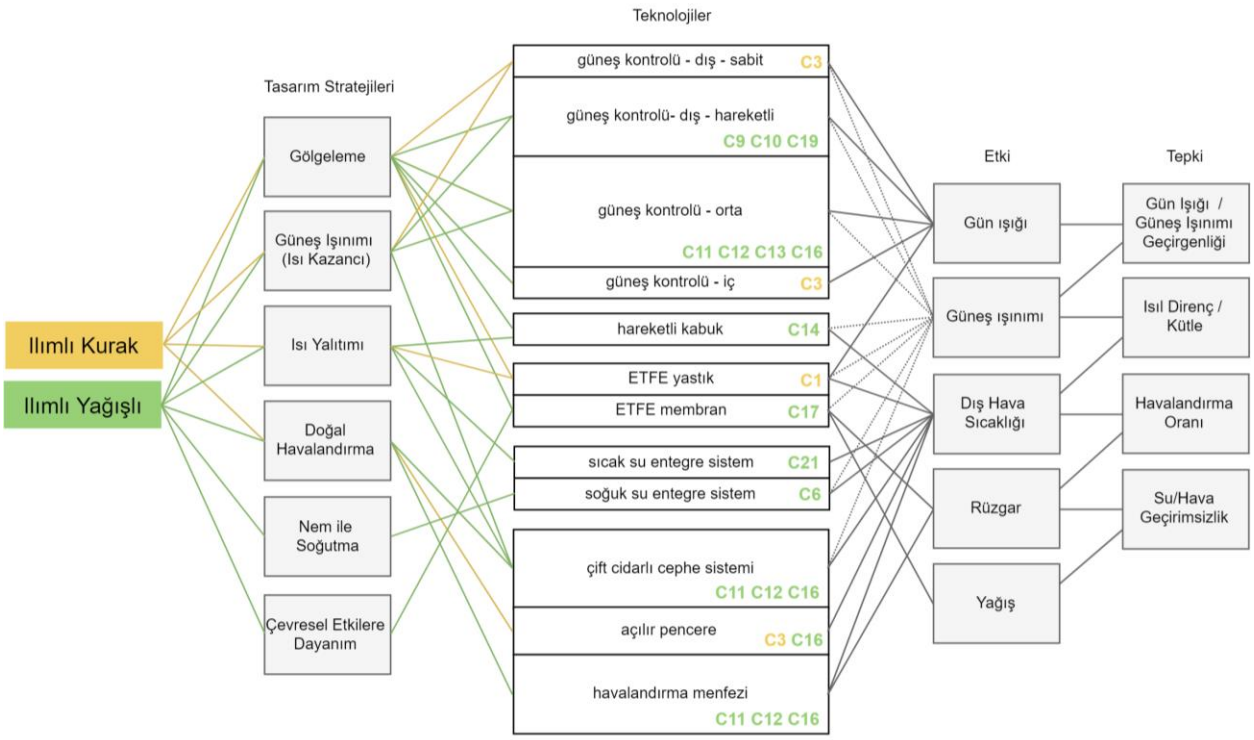


Şekil 2: Tropikal ve Kurak İklim Bölgeleri için Tasarım Performans Teknoloji İlişkileri Ağı

Kurak iklim bölgesinde, çöl ve step olarak ikiye ayrılan mevcut bina örneklerinde değişen iklim koşullarına bağlı olarak güneşten yararlanma veya korunmaya yönelik stratejilerin kullanıldığı görülmektedir (Şekil 2). Çöl ikliminde, gölgeleme stratejisinin bütün yönlerde, bina kabuğunun dışında, hareketli veya sabit güneş kontrol elemanları şeklinde uygulandığı örnekler mevcuttur. Böylelikle cephe, gün ışığının düzeyi ve güneş ışınımı şiddetine bağlı olarak geçirgenliğini

değiştirmekte, aydınlık düzeyinin kontrolü ile görsel konfor ve istenmeyen güneş ışınımı kazancının önüne geçilmesi ile ısıl konfor ile ilişkili performanslar bağlamında uyum göstermektedir.

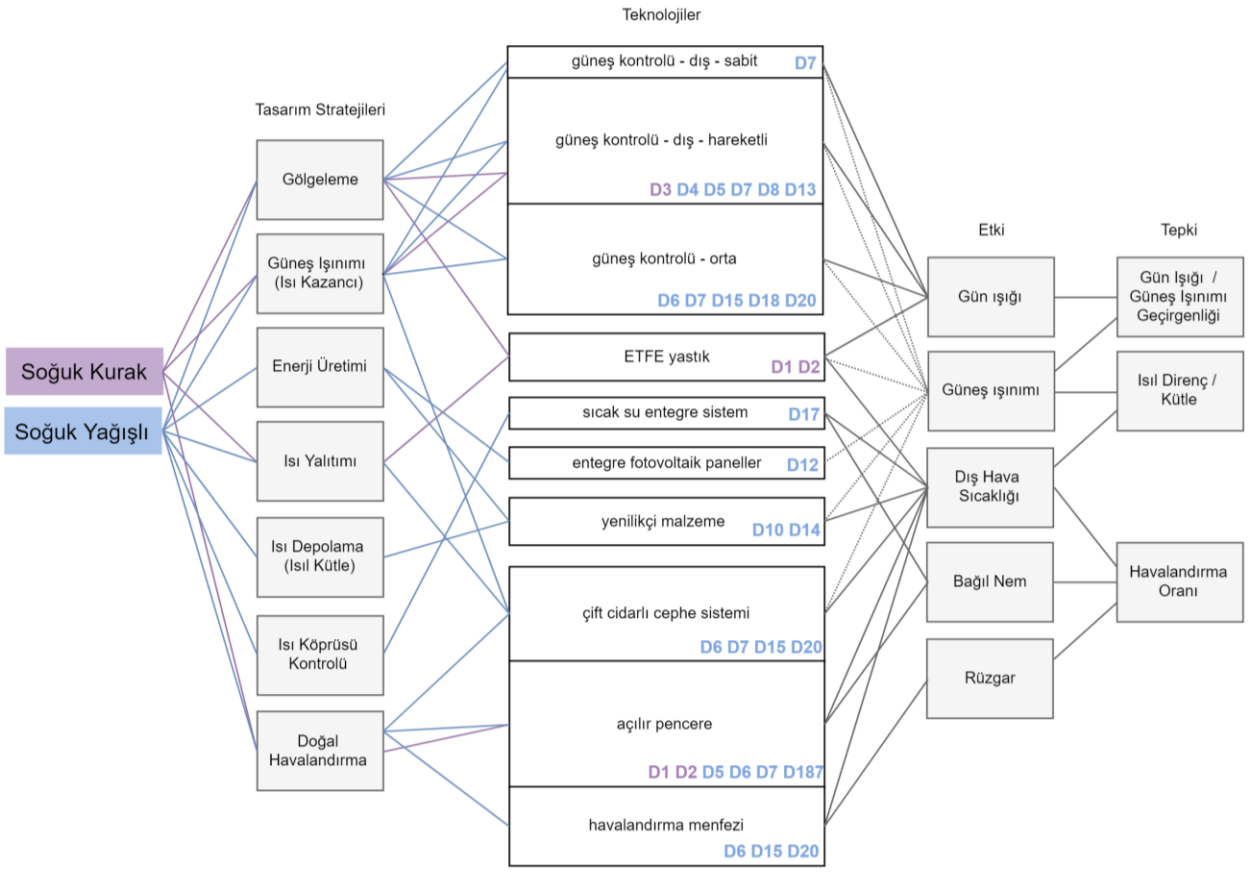
Step ikliminde ise, *Solar barrel wall* örneğinde, güney cephesinde su dolu varillerin oluşturduğu bir duvar kullanılması ile ısı depolama strateji uygulanmış, güneş ışınımı etkisine bağlı olarak binanın ısıl konfor ile ilişkili performansı iyileştirilmiştir. Bunun yanı sıra *Sharifi ha House* örneğinde, dikey eksen etrafında dönerek hareket eden birim ile, bina cephesinin saydamlık oranı değişerek, cephenin güneş ışınımı ile ısı kazancı ve ısı yalıtımı düzeyi kontrol edilmektedir. Güneş ışınımı ve dış hava sıcaklığına bağlı olarak uyum gösteren sistemde, görsel ve ısıl konfor ile ilgili performansların yanı sıra kullanıcı ile etkileşimli olarak manzarada da değişkenlik sağlanabilmektedir.



Şekil 3: Ilımlı İklim Bölgeleri için Tasarım Performans Teknoloji İlişkileri Ağı

Ilımlı iklim bölgesine bakıldığında kullanılan tasarım stratejilerinin ve teknolojilerin çeşitliliğinin arttığı görülmektedir (Şekil 3). Gölgeleme, güneş ışınımı, ısı yalıtımı stratejilerinin yanı sıra doğal havalandırma ve nem ile soğutma stratejileri de tropikal ve kurak iklim bölgelerinden farklı olarak ılımlı iklim bölgelerinde uygulanmıştır. Bu iklim bölgesinde en çok kullanılan teknoloji çift cidarlı cephe sistemleridir. Bu sistemin, iç cidarda yer alan açılır bir pencere ve/veya dış cidarda yer alan bir havalandırma menfezi ile dış ortam ile ilişkisi kurulmakta, statik ve dinamik olarak sistem dış hava koşulları ve rüzgar etkisi altında uyum göstermektedir. Aynı zamanda bu sisteme ek olarak iki cidar arasında yer alan hareketli bir güneş kontrol elemanları da gün ışığı ve güneş ışınımına bağlı olarak dinamik bir uyum göstermektedir. Böylelikle cephe, *ışık, ısı ve hava* ile ilişkili performansların iyileştirilmesinde etkilidir.

Kullanılan diğer teknolojilere bakılacak olursa; ETFE yastıklar, hem içerisindeki hava tabakası sayesinde ısı yalıtımı sağlamakta hem de içerisine argon gazı basılması ile yarı geçirgen hale gelmesi sayesinde gölgeleme sağlamakta ve beraberinde istenmeyen ısı kazançlarının önüne geçmektedir (Şekil 3). ETFE membranın tek başına kullanımı ile cephenin değişken çevresel koşullara dayanımı statik bir uyum gösterme ile sağlanmaktadır. Yapının opak gövdesine entegre edilen sıcak su dolaşımı dış hava sıcaklığındaki değişimler karşısında binadaki ısıl konforun sağlanmasında etkilidir. Yapının cephesinde yer alan yatay güneş kontrol elemanları içerisinde yer alan soğuk su dolaşımı ile bina cephesinde nem ile soğutma sağlanmakta ve ısıl konfora ilişkin performansta uyum göstermektedir. *Sliding house* örneğinde, yapıyı saran kabuğun doğu-batı eksenindeki hareketi ile güneş ışınımı kazancı ve ısı yalıtımı düzeyleri kontrol edilerek ısıl konfor düzenlenmekte aynı zamanda kullanıcının kontrolündeki sistem ile manzaraya göre uyum gösterme meydana gelebilmektedir.



Şekil 4: Soğuk İklim Bölgeleri için Tasarım Performans Teknoloji İlişkileri Ağı

Son olarak soğuk iklim bölgesinde güneşten yararlanma ve korunma stratejileri ile, pasif havalandırma stratejilerinin bir arada kullanıldığı örnekler görülmektedir (Şekil 4). Diğer teknolojilerden farklı olarak, enerji performansı ile ilişkili olarak, bina cephesinde güneşin geliş açısına bağlı hareket eden entegre fotovoltaik paneller kullanılmıştır. Isı köprüsü kontrolü stratejisi ise, giydirme cephe sisteminin yatay-düşey taşıyıcı profillerine entegre sıcak su dolaşımı ile ısı ile ilişkili performansın ve yoğuşmanın önüne geçilerek dolaylı olarak iç hava kalitesine ilişkin performansın iyileştirmesini içermektedir.

Teknolojiler başlığı altında yer alan yenilikçi malzemelere ilişkin ise, uygulamaya geçmiş, incelenen mevcut binalar içerisinde soğuk iklim bölgesinde iki örnek yer almaktadır; faz değiştiren malzeme ve mikro-algi kullanımı (Şekil 4). Faz değiştiren malzeme, *Alterswohnen Domat Ems* örneğinin güney cephesinde kullanılmıştır. Malzeme, güneş ışınlarının etkisi altında ısınarak erimekte, bu sırada bünyesine aldığı enerjiyi dış hava sıcaklığı düştüğünde donarak ortama vermektedir. Isı depolama stratejisinin yenilikçi bir biçimde uygulandığı bir örnek olma özelliği taşımaktadır. Bir diğer yenilikçi malzeme ise, *The BIQ House* örneğinde iki cam arasında kullanılan, güneş ışınlarının etkisi altında fermantasyon ile enerji açığa çıkaran mikro-algi katmanıdır. Açığa çıkan enerji binada suyun ısıtılmasında kullanılmış ve bu süreç sırasında gün ışığı / güneş ışınımı geçirgenliğinde meydana gelen değişim ile aynı zamanda dolaylı olarak gölgeleme sağlanmakta ve istenmeyen güneş ışınımı kazancının önüne geçmektedir. Sözü edilen iki sistemde de uyum gösterme mikro düzeyde ve içsel kontrol ile gerçekleşmektedir.

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında, literatürde dağınık bir şekilde yer alan uyum gösteren bina tanımları ve sınıflandırma yaklaşımları bütüncül bir bakış açısı ile bir araya getirilmektedir. Ortaya koyulan sınıflandırma sistematiği doğrultusunda, dünya genelinde farklı iklimlerde yer alan uyum gösteren cephe sistemleri incelenerek, kullanılan teknolojilere ilişkin karşılaştırmalı bir analiz yapılmaktadır. Uyum gösterme ve performans özellikleri üzerinden yapılan analizlerde, iklim bölgeleri üzerinden uygulanan tasarım stratejileri, teknolojiler, uyum göstermeyi etkileyen ve tepki veren parametreler ilişkiler ağları üzerinden değerlendirilmektedir.

Ele alınan bütün iklim bölgelerinde, *ışık ve ısı* ile ilgili performansta uyum göstermeye ilişkin çok sayıda örneğe rastlanmıştır. Tasarım startejisi olarak gölgelemenin ve bununla ilişkili olarak güneş kontrolü teknolojilerinin bütün iklim bölgelerinde kullanımı söz konusudur. Özellikle bina dışında konumlanan, otomasyona bağlı olarak hareket eden güneş kontrol sistemlerinin güneş ışınımı kazançlarını kontrol ederek cephenin *ısı* (ısıl konfor) ile ilgili performansını, aynı zamanda gün ışığı geçirgenliğindeki değişim ile *ışık* (görsel konfor) ile iligili performansını iyileştirdiği görülmektedir. Bunun dışında ısıl performansı etkileyen ve en çok kullanılan tasarım stratejisi ısı yalıtımıdır. Tropikal ve kurak-çöl iklimi dışında ele alınan bütün iklim bölgelerinde örnekleri görülmektedir. Isı yalıtımı için kullanılan farklı teknolojiler; ETFE yastıklar, su entegre sistemler, hareketli kabuk/birim ve çift cidarlı cephe sistemleri olarak sıralanabilir. *Hava* ile ilgili performansa yönelik tasarım stratejilerinin kullanımı ise incelenen örnekler içerisinde yalnızca ılımlı ve soğuk iklim bölgelerinde görülmüştür. Doğal havalandırma amacı ile en çok kullanılan teknoloji otomasyona bağlı açılır pencere ve havalandırma menfezlerinin yer aldığı çift cidarlı cephe sistemleridir. Bunun dışında incelenen örnekler arasında ısı depolama, ısı köprüsü kontolü, nem ile soğutma, enerji üretimi ve çevresel etkilere dayanım gibi tasarım stratejileri ile ilişkili yenilikçi teknolojilerin kullanımına yönelik farklı sistemler de yer almaktadır.

Mevcut teknolojilerin hangi iklim bölgelerinde, hangi tasarım stratejileri ile ilişkili olarak nasıl kullanıldıkları, performansı etkileyen çevresel faktörler ve cephenin verdiği tepki sonucunda değişen özellikleri ile ilişkili olarak ortaya koyulmaktadır. Oluşturulan ilişki ağları mevcut teknolojilerin kullanılabilirliklerini ortaya koyan bir veri tabanı niteliğindedir ve çalışmanın uyum gösteren cephe tasarımları içi bir yol gösterici olması söz konusudur. İklime duyarlı uyum gösteren cephelerin tasarıma yönelik mevcut yapılar üzerinden dünya genelinde bir çerçeve ortaya

koyulmuştur. Aynı zamanda uyum gösteren binalara ilişkin farklı tanımlamalar ve sınıflandırmalar Türkçeleştirilerek, çalışmanın Türkiye ölçeğinde bu bağlamda yapılabilecek cephe tasarımlarına yardımcı bir araç olarak kullanılması amaçlanmıştır.

KAYNAKLAR

1. R.C.G.M. **Loonen**, M. Trčka, D. Cóstola, J.L.M. Hensen, "Climate adaptive building shells: State-of-the-art and future challenges." Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 25, September (2013), p:483-493.
2. D. **Aelenei**, L. Aelenei, and C. P. Vieira, "Adaptive Façade: concept, applications, research questions." SHC 2015, International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry, Energy Procedia 91, (2016), pp: 269-275.
3. B. **Kolarevic,** V. Parlac, "Building Dynamics: Exploring Architecture of Change." Chapter 6: Adaptive, Responsive Building Skins. Routledge, (2015), p: 69-89.
4. M. **Addington**, D. Schodek, "Smart Materials and Technologies in Architecture." Elsevier, (2012).
5. R. **Fortmeyer**, C. Linn, "Kinetic Architecture: Designs for Active Envelopes." Images Publishing, Australia, (2014).
6. T. **Herzog**, R. Krippner, W. Lang, "Facade Construction Manual". Birkhauser, Germany, (2004).
7. H. **Schnädelbach**, "Adaptive Architecture - A Conceptual Framework." Proceedings of MediaCity, Weimar, Germany, (2010).
8. M. **Koyaz**, "Adaptability Level of Facade Systems Regarding Facade Performances." ICBSET – İstanbul. Interdiciplinary Perspectives for Future Building Envelopes. 15-18 May (2017), pp: 770-783.
9. R.C.G.M. **Loonen**, J. M. Rico-Martinez, F. Favoino, M. Brzezicki, C. Menezo, G. La Ferla, and L.Aelenei, "Design for façade adaptability – Towards a unified and systematic characterization." In Proceedings of the 10th Conference on Advanced Building Skins. Bern, Switzerland, (2015), pp. 1284-1294.
10. M. **Perino**, V. Serra, "Switching from static to adaptable and dynamic building envelopes: A paradigm shift for the energy efficiency in buildings." Journal of Facade Design and Engineering 3, (2015), pp: 143-163.
11. N. V. **Gür**, "Mimaride Sürdürülebilirlik Kapsamında Değişken Yapı Kabukları İçin Bir Tasarım Destek Sistemi" Doktora Tezi, Istanbul Teknik Üniversitesi, Yapı Bilgisi Programı, (2007).
12. N. **Ramzy**, H. Fayed, "Kinetic systems in architecture: New approach for environmental control systems and context-sensitive buildings." Sustainable Cities and Society, 1, (2011), pp: 170–177.
13. P. H. **Kirkegaard**, I. W. Foged, "Development and Evaluation of a Responsive Building Envelope." In Adaptive Architecture: The Building Centre London, Conference Papers. London: University of Nottingham, (2011).
14. B. **Ogwezi**, R. Bonser, G. Cook, J. Sakula, "Multifunctional, Adaptable Facades." TSBE EngD Conference, TSBE Centre, University of Reading, Whiteknights, RG6 6AF, 5th July (2011).
15. M.A. **Fox**, B.P. Yeh, " Intelligent kinetic systems." Kinetic Design Group, MIT, Cambridge.
16. C.E. **Ochoa**, I.G. Capeluto, "Strategic decision-making for intelligent buildings: Comparative impact of passive design strategies and active features in a hot climate." Building Environment 43, (2008), pp: 1829–1839.
17. M. **Kassema**, D. Mitchellb, "Bridging the gap between selection decisions of facade systems at the early design phase: Issues, challenges and Solutions". Journal of Facade Design and Engineering 3, (2015), pp: 165-183.
18. A. **Van der Aa**, P. Heiselberg, M. Perino, "IEA ECBCS - Annex 44: Designing with Responsive Building Elements." Aalborg: Aalborg University, (2011).
19. M.A. **Ross**, D.H. Rhodes, D.E. Hastings, "Defining Changeability: Reconciling Flexibility, Adaptability, Scalability, Modifiability, and Robustness for Maintaining System Lifecycle Value." Systems Engineering, 11 (3), (2008), pp: 246–262.
20. M. C. **Peel**, B. L. Finlayson, T. A. McMahon, Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. Hydrology and Earth System Sciences, 11, (2007), pp: 1633–1644.
21. R.C.G.M. **Loonen**, "CABS – What can we simulate? Overview of 100 Climate adaptive building shells." MSc. Thesis. Eindhoven University of Technology, Architecture, Building & Planning, Building Services, (2010).
22. H. **Dent**, L. Sherr, "Material Innovation: Architecture." Thames & Hudson, UK, (2014).
23. M. **Wigginton**, J. Harris, "Intelligent Skins." Oxford: Butterworth-Heinemann, (2002).
24. URL: http://www.archdaily.com/ [Accessed: 25- 02- 2018].

3.Ulusal
Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi

10-11 Mayıs 2018
İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul

SICAK - KURU İKLİM BÖLGELERİNDE BİNA KABUĞU ISIL PERFORMANSININ YAZ KONFOR KOŞULLARI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK BİR ÇALIŞMA

Y. Mimar Melis Ekizce Can[a]
Doç. Dr. Gülten Manioğlu[b]
İTÜ Mimarlık Fakültesi
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

ÖZET

Binalarda ısısal konfor gereksinimleri nedeniyle artan enerji harcamaları beraberinde fosil enerji kaynaklarına dayalı tüketimi de artırmıştır. Bunun doğal bir sonucu olarak ortaya çıkan sera gazları, hava kirliliğine ve yeryüzüne ulaşan güneş ışınlarının yansıdıktan sonra atmosferden çıkamamasına neden olmaktadır. Bunun yanı sıra, aşırı yapılaşma ve yanlış kentleşme sonucu şehirlerin birer ısı adasına dönüşmesi, soğutma enerjisi harcamalarının sadece sıcak iklimlerde değil, ılımlı iklimlerde de artmasına neden olmuştur. Soğutma enerjisi harcamalarını azaltmak için bina kabuğunda en çok uygulanan yöntemlerden biri, dinamik ısıl özelliklerinin kontrol edilmesi ile, bina kabuğunun yaz konfor koşulları için performansının arttırılması ve minimum soğutma enerjisi harcamasını gerçekleştiren bina kabuğunun tasarlanmasıdır. Bu çalışma kapsamında, Türkiye'nin sıcak kuru iklim bölgesini temsil eden Diyarbakır şehrinde yer alan bir binada soğutma enerjisi harcamalarını azaltmak amacıyla yaz konfor koşullarının değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Bu hedefe yönelik olarak bina kabuğunun dinamik ısıl özellikleri, yaz dönemi soğutma enerjisi harcamaları ve iç hava ve iç yüzey sıcaklıkları değerlerinin hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar sonucunda, geliştirilen bina kabukları için gerçekleşen yıllık soğutma enerjisi harcamaları ile günlük ve haftalık iç hava - iç yüzey sıcaklığı değişim değerleri; bina kabuklarının dinamik ısıl özellikleri açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Anahtar sözcükler: Soğutma yükleri, Bina kabuğunun dinamik ısıl özellikleri, Yaz konfor koşulları

ABSTRACT

Increased energy consumption has led to reduction of natural resources; therefore, cost of energy has increased. Greenhouse gases, as a result of excessive consumption based on fossil energy resources, causes air pollution and absorbs sun light in the atmosphere after the reflection on earth. Cities transformed into heat islands as a result of excessive construction and unplanned urbanization. Therefore, cooling energy consumption has increased not only in hot climates, but also in temperate climates. Increasing the performance of building envelope for summer comfort conditions and designing the building envelope for minimum cooling energy consumption by controlling its dynamic thermal conditions are the mostly used methods in building envelope to reduce cooling energy consumption. In this study, it is aimed to evaluate summer comfort conditions to reduce cooling energy consumption in a building in Diyarbakır, the representative city of hot-dry climatic zone in Turkey. Dynamic thermal properties of building envelope, summertime cooling load, air temperature and inside surface temperature values are calculated to this purpose. Based on calculations, annual cooling loads, and daily/weekly inside air – inside surface temperature changes are compared for different building envelopes in terms of dynamic thermal properties of building envelopes.

Key words: Cooling loads, Dynamic thermal properties of building envelope, Summer comfort conditions

[a] e-posta adresi: melisekizce@gmail.com
[b] e-posta adresi: manioglu@itu.edu.tr

1.GİRİŞ

Enerji harcamalarının önemli bir yüzdesi, binalarda iklimsel konfor koşullarını sağlamak amacıyla binanın ısıtılması ve soğutulması için harcanmaktadır. Enerji etkin tasarımda bina içi ve bina dışı çevreyi ayıran, bina cephesinde gerçekleşen ısı geçişini kontrol ederek enerji harcamalarını da belirleyen bina kabuğunun kontrol edilmesi ve bu açıdan bina kabuğunda önlemler alınması esastır. Son yıllarda, tüm dünya ülkelerinde etkisi hissedilmeye başlanan küresel ısınma gibi çevresel problemlerin yanı sıra, aşırı yapılaşma ve yanlış kentleşme sonucu şehirlerin birer ısı adasına dönüşmesi, soğutma enerjisi harcamalarının sadece sıcak iklimlerde değil, ılımlı iklimlerde de artmasına neden olmuştur. İklimsel konfor koşullarının minimum soğutma enerjisi harcaması ile gerçekleşmesine yönelik dünyada yapılan çalışmalarda, ısıtmanın istenmediği dönemin uzun, ve gece gündüz sıcaklık farklarının yüksek olduğu sıcak iklim bölgelerinde, özellikle bina kabuğunun ısıl özelliklerine ilişkin alınabilecek önlemlere önem verildiği görülmektedir [**1**].

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, tasarım aşamasında bina kabuğunun ısıl performansıyla ilgili kriterler için TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları'nı referans göstermektedir. Ancak bu standartta, bina kabuğunun toplam ısı geçirme katsayısı için sınır performans değerleri belirlenirken yalnızca ısıtmanın istendiği dönem esas alınmakta, aynı kabuğun, soğutmanın istendiği dönemde yol açabileceği enerji harcamalarına ilişkin önlemler yer almamaktadır. TS 825'e uygun bir binanın, kış şartları için yeterli olmasına rağmen yaz şartlarında aşırı ısınması ve ısıl konfor şartlarının sağlanamadığı için mekanik soğutmaya ihtiyaç duyabilmesi söz konusudur [**2**].

Kış ve yaz şartlarında meydana gelen ısı iletim rejimleri, ilgili hesap metotları ve konfor şartları üzerindeki etkili malzeme ve kesit özelikleri farklıdır. Binalarda kış konforu ile ilgili ulusal ve uluslararası standartlarda, hesap kolaylığı açısından ve sonuçları kabul edilebilir sapmalar içinde kaldığı düşünülerek, ısı iletimi ile ilgili büyüklükler sabit rejim şartlarında hesaplanmaktadır. (TS 825 , 2008 ; ISO 9164 , 1998 [**3**]; EN 832, 1998 [**4**]) Kış konforu için binalarda ısı yalıtımı uygulayarak ısı kaybının azaltılması ve iç yüzey sıcaklıklarının yükseltilmesi, genel anlamda yeterli olmaktadır [**5**]. Yaz konforu için ise sabit rejim şartlarının kullanılması, bu mevsimde yapı elemanlarını büyük ölçüde etkileyen güneş ışınlarının yoğun enerjisi ve bu enerjinin 24 saatlik periyotlarla değişmesi sebebiyle mümkün değildir [**6**]. Yaz mevsiminde hem hava sıcaklığı ve hem de bina kabuğunun dış yüzey sıcaklığı, gündüz ve gece vakitleri arasında büyük değişim göstermektedir. Bu nedenle dinamik ısıl özelliklerinin belirlenmesi ile bina kabuğunun yaz konfor koşulları için performansının değerlendirilerek minimum soğutma enerjisi harcamasını gerçekleştiren bina kabuğunu tasarlanmak olanaklıdır.

Sıcak - kuru iklim bölgelerinde tasarım sürecini ve kararlarını etkileyen binaya ilişkin değişkenlerden; bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri, iç iklim elemanlarının değişimi üzerinde en etkili olan değişkendir. Bina kabuğunun optik özellikleri; güneş ışınımına karşı yutuculuk, yansıtıcılık ve geçirgenlik katsayıları; bina kabuğunun termofiziksel özellikleri ise; saydamlık oranı, toplam ısı geçirme katsayısı, zaman geciktirmesi, genlik küçülme faktörü, ısı yayınım katsayısı, yüzey faktörü, ısıl girişimlilik değeri, alansal ısı kapasitesi, eşdeğer alansal ısı kapasitesi olarak sıralanabilir. Tüm bu termofiziksel özelliklerin değerleri yardımıyla bina kabuğunun dinamik ısıl özellikleri hesaplanıp performansları değerlendirilerek, sıcak-kuru iklim bölgelerinde, yaz konfor koşullarını en düşük soğutma yükü ile sağlayabilen bina kabuğu detayı belirlenebilmektedir.

Bu çalışma, yaz konfor koşullarında minimum soğutma enerjisi harcamasının gerçekleştiği bina kabuğu alternatifinin belirlenmesi amacıyla performanslarının değerlendirilmesini kapsamaktadır. TS 825 tarafından belirlenmiş olan, toplam ısı geçirme katsayısı sınır değerleri esas alınarak oluşturulmuş farklı bina kabuğu alternatiflerinin, dinamik ısıl özellikleri de hesaplanarak yaz koşulları altındaki davranışları incelenmiştir. Çalışmada, üretilen bina kabuğu alternatiflerinin gerçekleştirdiği soğutma enerjisi harcamaları ve iç konfor koşulları, dinamik bir simülasyon yazılımı yardımıyla hesaplanmış ve tüm sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

2. SICAK KURU İKLİM BÖLGELERİNDE BİNA KABUĞU ISIL PERFORMANSININ YAZ KONFOR KOŞULLARI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK BİR ÇALIŞMA

Bu çalışmada Türkiye'nin sıcak kuru iklim bölgesini temsil eden Diyarbakır şehrinde yer alan bir binada soğutma enerjisi harcamalarını azaltmak amacıyla yaz konfor koşullarının değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Bu hedefe yönelik olarak bina kabuğunun dinamik ısıl özellikleri (zaman geciktirmesi, genlik küçültme faktörü, ısıl girişimlilik değeri, alansal ısı kapasitesi ve eşdeğer alansal ısı kapasitesi) hesaplanmış ve-hesaplamalar sonucunda, geliştirilen bina kabukları için gerçekleşen yıllık soğutma enerjisi harcamaları ile günlük ve haftalık iç hava sıcaklığı ve iç yüzey sıcaklığı değişim değerleri; bina kabuklarının dinamik ısıl özellikleri açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Uygulama çalışmasında yapılan kabuller ve izlenen yol aşağıdaki gibidir.

3.1. İklime ve Binaya İlişkin Kabullerin Belirlenmesi

Çalışma için Türkiye'de sıcak-kuru iklim bölgesinin özelliklerini karakteristik olarak temsil eden Diyarbakır ili seçilmiştir. Soğutma sisteminin hafta içi akşam 18:00 sabah 08:30 arası, haftasonları da tüm gün boyunca devreye gireceği kabul edilmiştir. Hesaplamalarda iç hava sıcaklığı konfor değeri; soğutma için 26°C, soğutmanın devreye girmesi için kabul edilen üst sınır değer ise 29 °C olarak kabul edilmiştir. Çalışmanın eğimsiz bir arazide gerçekleştiği ve ele alınan binanın diğer binalar tarafından gölgelenmediği varsayılmıştır. Uygulamada ele alınan bina taban alanı 100 m² (10x10 m) olan 3 katlı bir binadır. Hesaplamalarda tüm mekanlarda iç hava sıcaklığının eşit olduğu ve binaya ait iç duvar ve döşemelerinin tümü kaldırılarak binanın tek bir hacimden oluştuğu kabul edilmiş ve ısı kayıp ve kazanç hesaplamalarında tüm binanın hacmi esas alınmıştır. Tüm hesaplamalar için güney cephesinde % 30, kuzey cephesinde ise %10 saydamlık oranına sahip olduğu kabul edilmiştir. Ele alınan binada kullanılan ahşap doğramalı hava boşluklu low-e çift cam pencerenin toplam ısı geçirme kaysayısı U= 1, 772 W/m²K olarak alınmıştır. Opak bileşeni oluşturan malzemeler TS 825 kapsamındaki çağdaş malzemelerden seçilmiştir.

Seçilen malzemelere göre elde edilen bina kabuğu bileşenlerinin toplam ısı geçirme katsayıları, TS 825'te belirtilen sınır değerler göz önünde bulundurularak; Diyarbakır 2. Bölge'de duvar ve zemin katmanlaşması için U=0,57 W/m²K, tavan katmanlaşmasıiçin ise U=0,38 W/m²K olarak tanımlanmıştır [**7**]. Bina kabuğu alternatiflerinin belirlenmesinde, farklı ana duvar malzemesi ve farklı iç yüzey kaplama malzemeleri kullanılmış, dış kaplama ve yalıtım malzemeleri değiştirilmemiştir. Kabuk alternatifleri oluşturulurken, 3 farklı ana duvar malzemesi ve 5 farklı iç yüzey kaplama malzemesi kullanılarak 15 farklı bina kabuğu seçeneği oluşturulmuştur (**Çizelge 1**).

Çizelge 1: Bina kabuğu alternatiflerinin termofiziksel özellikleri

KABUK ALTERNATİFLERİ		Isı İletkenlik Katsayısı	Özgül Isı	Yoğunluk	Isıl Yayınım Katsayısı	Kalınlık	Toplam Isı Geçirme Katsayısı
		λ	c	ρ	α	d	U
		W/m-K	J/Kg-K	Kg/m³	m²/sec	cm	W/m²-K
DET1	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	2,5	
	3 Delikli Tuğla	0,375	1000	930	4,03E-07	22,5	
	4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,60E-07	2,0	
DET2	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	2,5	
	3 Delikli Tuğla	0,375	1000	930	4,03E-07	25,4	
	4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,6032E-07	1,0	
	5 Alçı sıva	0,35	1000	1200	2,9167E-07	0,5	
DET3	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	2,5	
	3 Delikli Tuğla	0,375	1000	930	4,03E-07	21,7	
	4 Alçı plak	0,16	840	950	2,01E-07	2,0	
DET4	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	2,5	
	3 Delikli Tuğla	0,375	1000	930	4,03E-07	21,9	
	4 Ahşap Kaplama	0,16	1255	720	1,77E-07	2,0	
DET5	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	2,5	
	3 Delikli Tuğla	0,375	1000	930	4,03E-07	26,2	
	4 Yapış. Harcı (Çimento)	1,4	650	2100	1,03E-06	0,8	
	5 Doğal taş kap.(Mermer)	2,77	808	2499	1,37E-06	1,2	
DOT1	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,4	
	3 Dolu Tuğla	0,77	1000	1750	4,40E-07	28,8	
	4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,60E-07	2,0	
DOT2	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,4	
	3 Dolu Tuğla	0,77	1000	1750	4,40E-07	28,6	
	4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,60E-07	1,0	
	5 Alçı sıva	0,35	1000	1200	2,92E-07	0,5	
DOT3	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,4	
	3 Dolu Tuğla	0,77	1000	1750	4,40E-07	20,7	
	4 Alçı plak	0,16	840	950	2,01E-07	2,0	
DOT4	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,4	
	3 Dolu Tuğla	0,77	1000	1750	4,40E-07	21,1	
	4 Ahşap Kaplama	0,16	1255	720	1,77E-07	2,0	
DOT5	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,4	
	3 Dolu Tuğla	0,77	1000	1750	4,40E-07	30,0	
	4 Yapış. Harcı (Çimento)	1,4	650	2100	1,03E-06	0,8	
	5 Doğal taş kap.(Mermer)	2,77	808	2499	1,37E-06	1,2	
NAB1	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	4,1	
	3 Normal Agregalı Beton	2,1	960	2400	9,11E-07	28,3	
	4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,60E-07	2,0	
NAB2	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	4,1	
	3 Normal Agregalı Beton	2,1	960	2400	9,11E-07	27,1	
	4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,60E-07	1,0	
	5 Alçı sıva	0,35	1000	1200	2,92E-07	0,5	
NAB3	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,9	
	3 Normal Agregalı Beton	2,1	960	2400	9,11E-07	20,8	
	4 Alçı plak	0,16	840	950	2,01E-07	2,0	
NAB4	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,9	
	3 Normal Agregalı Beton	2,1	960	2400	9,11E-07	21,4	
	4 Ahşap Kaplama	0,16	1255	720	1,77E-07	2,0	
NAB5	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	4,1	
	3 Normal Agregalı Beton	2,1	960	2400	9,11E-07	31,0	
	4 Yapış. Harcı (Çimento)	1,4	650	2100	1,03E-06	0,8	
	5 Doğal taş kap.(Mermer)	2,77	808	2499	1,37E-06	1,2	

Kabuk alternatiflerinin karşılıklı analizinin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için tüm ele alınan binalarda döşeme ve tavanlar için sabit katmanlaşma detayları kullanılmıştır. Soğutma enerjisi harcamaları ile iç hava sıcaklığı ve iç yüzey sıcaklıkları hesaplamalarında, doğal havalandırmanın gece 00.00 – sabah 06.00 arası aktif olacağı kabul edilmiştir.

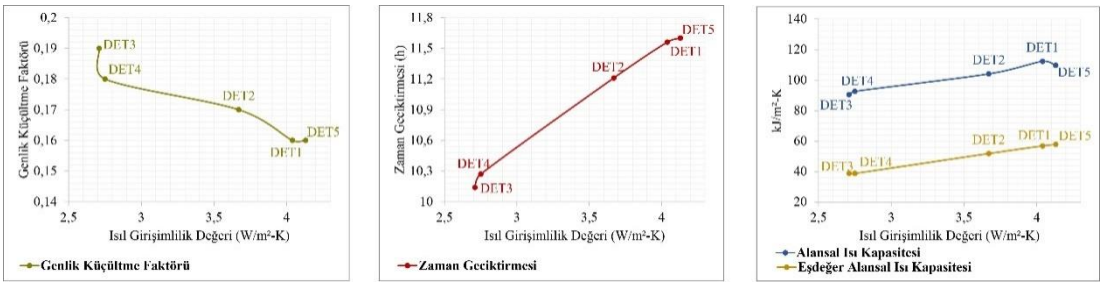
3.2. Bina Kabuğu Alternatifleri için Dinamik Isıl Özelliklerin Hesaplanması

Çalışma kapsamında oluşturulan bina kabuklarının ısıl performanslarının yaz konfor koşulları açısından değerlendirilebilmesi için ısı geçişinde doğrudan etkili olan dinamik ısıl özellikleri (Zaman Geciktirmesi, Genlik Küçültme Faktörü, Isıl Girişimlilik Değeri, Alansal Isı Kapasitesi ve Eşdeğer Alansal Isı Kapasitesi) EN ISO 13786 [**8**] ve EN ISO 13790 [**9**] standarlarında belirtilen hesap metotlarına göre yazılmış "Dynamic Thermal Properties Calculator" programı kullanılarak hesaplanmıştır. Bina kabuğunun dinamik ısıl özellikleri, binadan bağımsız olarak, sadece kabuğun birim alanında gerçekleşen ısıl davranışına ilişkin özelliklerdir. Hesaplamalar 24 saatlik periyotlar için gerçekleştirilmiştir (**Çizelge 2**).
Kabuk alternatifleri için yapılan değerlendirmede; ısıl girişimlilik değerinin zaman geciktirmesi, alansal ısı kapasitesi ve eşdeğer alansal ısı kapasitesi değerleri ile doğru orantılı ancak genlik küçültme faktörü değeri ile ters orantılı olarak değişim gösterdiği belirlenmiştir. Tüm kabuk alternatifleri için, bina kabuğunun iç yüzey direncinin de hesaba katıldığı; eşdeğer alansal ısı kapasitesi (K'); ısıl girişimlilik ve zaman geciktirmesiyle doğru, genlik küçültme faktörüyle ters orantılı olarak değişim göstermiştir. Alansal ısı kapasitesi (K) değeri ise, kabuğun iç yüzey direncinden bağımsız olarak sadece özgül ısı, yoğunluk ve efektif derinliğe bağlı olarak değişim gösteren bir değer olduğundan, eşdeğer alansal ısı akısı eğilimine göre küçük sapmaların oluştuğu durumlar da oluşmuştur. Bu nedenle çalışmanın devamında, iç yüzey faktörünün de hesaba katıldığı, eşdeğer alansal ısı kapasitesi değeri kullanılacaktır.

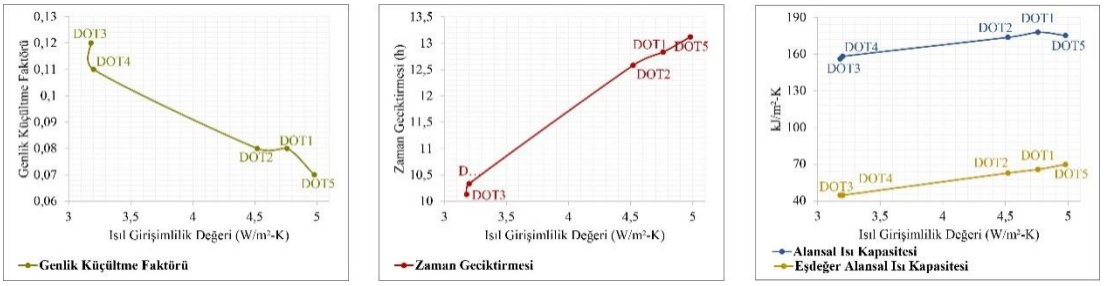
Çizelge 2: Bina kabuğu alternatiflerinin dinamik ısıl özellikleri

KABUK ALTERNATİFLERİ		Toplam Isı Geçirme Katsayısı	Isıl Girişimlilik Değeri	Zaman Geciktirmesi	Genlik Küçültme Faktörü	Alansal Isı Kapasitesi	Eşdeğer Alansal Isı Kapasitesi
		U	Y	φ	μ	K	K'
		W/m²-K	W/m²-K	h	boyutsuz	kJ/m²-K	kJ/m²-K
Delikli Tuğla	DET1	0,57	4,04	11,56	0,16	112,2	57
	DET2	0,57	3,67	11,21	0,17	103,95	52
	DET3	0,57	2,71	10,14	0,19	90,36	39
	DET4	0,57	2,75	10,27	0,18	92,47	39
	DET5	0,57	4,13	11,6	0,16	109,55	58
Dolu Tuğla	DOT1	0,57	4,76	12,83	0,08	177,8	66
	DOT2	0,57	4,52	12,58	0,08	173,65	63
	DOT3	0,57	3,18	10,13	0,12	155,96	45
	DOT4	0,57	3,2	10,33	0,11	158,07	45
	DOT5	0,57	4,98	13,12	0,07	175,15	70
Normal Agregalı Beton	NAB1	0,57	5,42	10,07	0,1	222,12	75
	NAB2	0,57	5,27	9,66	0,11	220,74	73
	NAB3	0,57	3,55	8,5	0,11	200,28	50
	NAB4	0,57	3,56	8,66	0,11	202,39	50
	NAB5	0,57	5,75	10,6	0,09	219,47	80

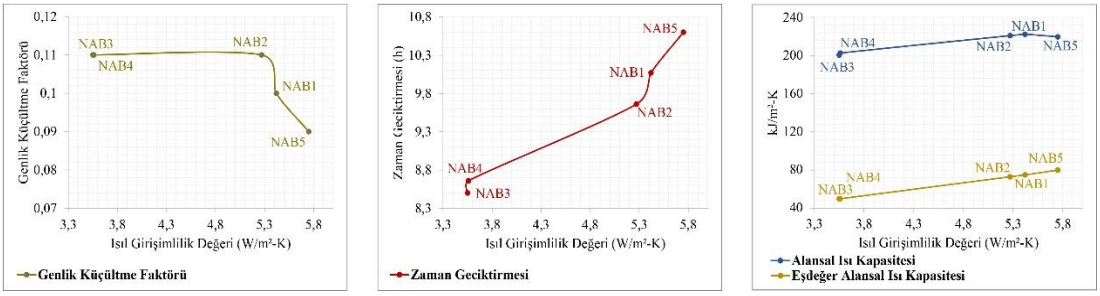
Isı kapasitesi ve eşdeğer alansal ısı kapasitesi gibi dinamik ısıl değerlere ait değişim, bina kabuğunun iç yüzeyinden efektif bir derinliğe kadar hesaplanan ısıl girişimlilik değerine bağlı olarak grafiklerle ifade edilmiştir (**Şekil 1-3**).



Şekil 1: Delikli tuğla kabuk alternatiflerinin dinamik ısıl özellikler,



Şekil 2: Dolu tuğla kabuk alternatiflerinin dinamik ısıl özellikleri

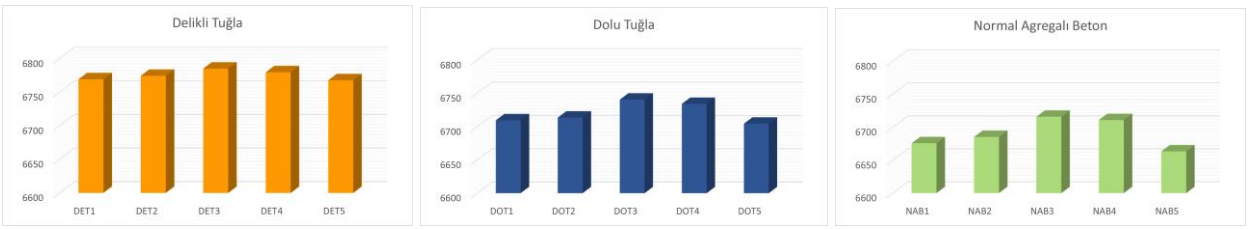


Şekil 3: Normal agregalı beton kabuk alternatiflerinin dinamik ısıl özellikleri

İç yüzeyi doğal taş kaplamalı (5 no.'lu) kabuk alternatifleri, hesaplanan dinamik ısıl özellikler yönünden en iyi sonuçları verirken; iç yüzeyi alçı plak ve ahşap kaplamalı (3 ve 4 no.'lu) kabuk alternatiflerine bakıldığında; iç yüzeydeki alçı plak ve ahşap kaplamanın, bina kabuğunun dinamik ısıl özelliklerini olumsuz yönde etkilediği gözlemlenmiştir.

3.3. Bina Kabuğu Alternatifleri için Soğutma Enerjisi Harcamalarının Hesaplanması

Farklı kabuk alternatiflerinin yaz döneminde gerçekleşen soğutma enerjisi harcamalarının hesaplanmasında, ASHRAE ısıl denge hesap yöntemini kullanan, "EnergyPlus" yazılımının kullanıcı dostu arayüzü ve dinamik ısıl bir simülasyon programı olan "Design Builder" programı kullanılmıştır. Yaz simülasyonu için Nisan-Ekim ayları arasındaki 6 aylık dönem seçilmiştir. Ana duvar malzemelerinin farklı iç yüzey kaplamaları ile oluşturulmuş olan kabuk kombinasyonları incelendiğinde; soğutma enerjisi için en yüksek harcamaların iç yüzeyi alçıplak kaplama olan (3 no'lu) kabuk alternatifleri, en düşük harcamaların ise iç yüzeyi doğal taş kaplamalı (5 no.'lu) kabuk alternatifleriyle oluşturulmuş binalarda olduğu görülmektedir (**Şekil 4**).



Şekil 4: Delikli, dolu tuğla ve normal agregalı beton kabuk alternatifleri için soğutma enerjisi harcamaları

İç yüzey kaplama malzemelerinin farklı ana duvar malzemeleri ile kombinasyonları sonucu gerçekleşen soğutma enerjisi harcamalarına bakıldığında sıcak – kuru iklimde en yüksek harcamaların delikli tuğla, en düşük harcamaların ise normal agregalı beton (NAB) ana duvar malzemesi ile oluşturulan binalarda gerçekleştiği görülmüştür **(Şekil 5)**.

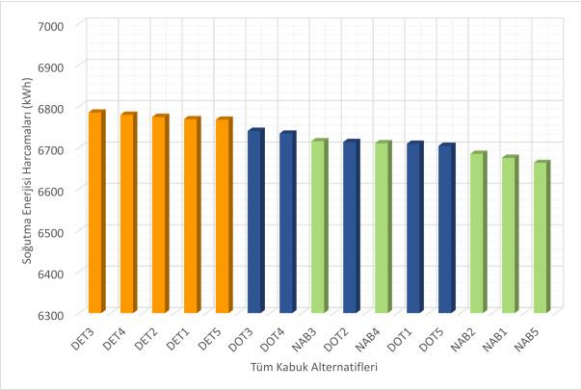


Şekil 5: Farklı iç yüzey kaplama alternatifleri için soğutma enerjisi harcamaları

Çalışma kapsamında ele alınan tüm kabuk alternatifleri için hesaplanmış soğutma enerjisi harcamaları Şekil 6'da gösterilmektedir. Buna göre soğutma enerjisi için, tüm bina kabuğu alternatifleri içinde en yüksek harcama delikli tuğlada (DET3); en düşük harcama ise normal agregalı betonda (NAB5) gerçekleşmiştir.

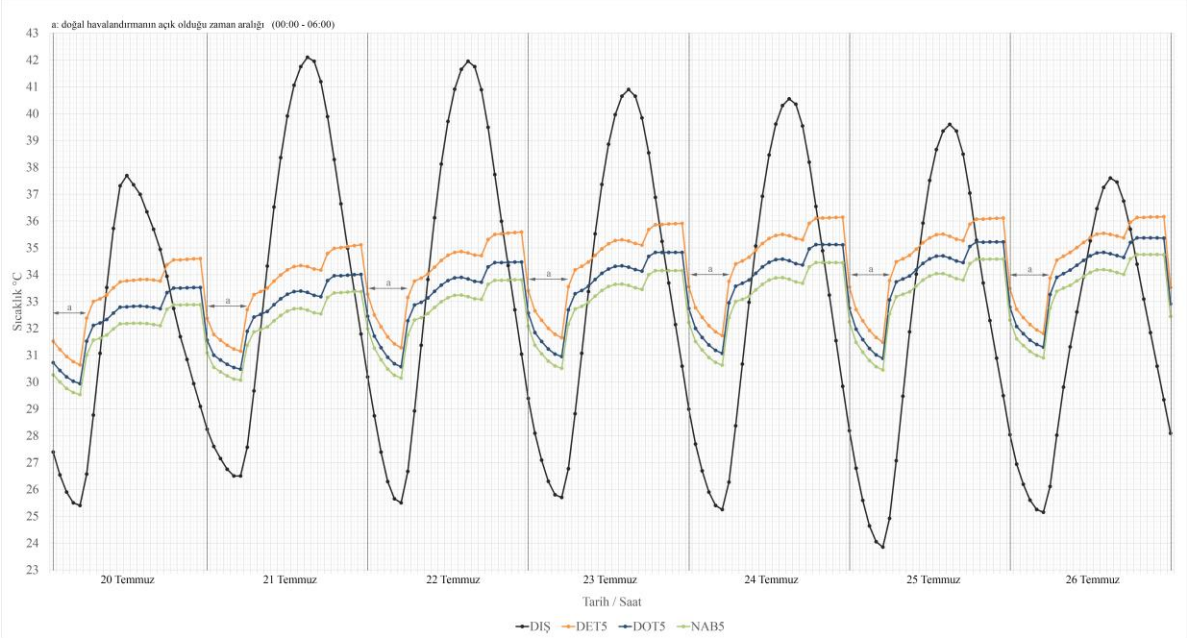
3.4. Bina Kabuğu Alternatifleri için Haftalık İç Hava ve İç Yüzey Sıcaklık Değerlerinin Hesaplanması

Çalışmanın son adımında; her ana duvar malzemesi grubundan hesaplamalar sonucunda en düşük soğutma enerjisi harcamalarını gerçekleştiren kabuk alternatifleri için yapma soğutma sistemi



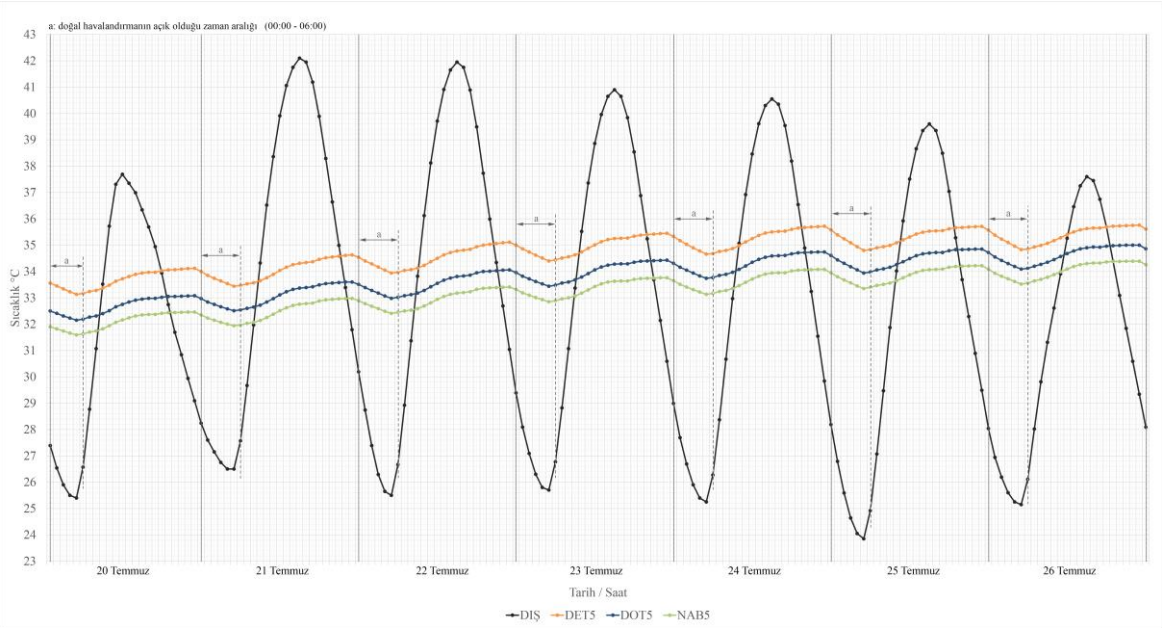
Şekil 6: Tüm kabuk alternatifleri için soğutma enerjisi harcamaları

devre dışı bırakılıp, saatlik iç hava ve iç yüzey sıcaklığı değerleri hesaplanarak sıcaklık değişim eğrileri oluşturulmuş ve binada gerçekleşen iç konfor koşulları değerlendirilmiştir.
Binalarda en yüksek iç hava ve iç yüzey sıcaklıklarına ait hesaplamalar, yılın en sıcak gününü temsil eden, 21 Temmuz'un da içinde olduğu 1 haftalık bir sure için gerçekleştirilmiştir [**10**]. Hesaplamalar için Design Builder programı kullanılmıştır **(Şekil 7** ve **8).**



Şekil 7: Tüm kabuk alternatifleri için 20-26 Temmuz iç – dış hava sıcaklığı değişimi

Haftalık iç – dış hava sıcaklık değişim incelendiğinde; sahip olduğu en düşük ısıl girişimlilik değeri, eşdeğer alansal ısı kapasitesi ve en yüksek genlik küçültme faktörüne bağlı olarak delikli tuğla (DET5) kabuk alternatifinde, iç hava sıcaklıkları hafta boyunca en yüksektir. Normal agregalı betonda (NAB5), yüksek ısıl girişimlilik değeri, eşdeğer alansal ısı kapasitesi ve düşük genlik küçültme faktörüne bağlı olarak, sıcaklık artışı tüm hafta devam etmesine rağmen, diğer kabuk alternatiflerine kıyasla iç hava sıcaklıkları hafta boyunca en düşük değerleri vermiştir.



Şekil 8: Tüm kabuk alternatifleri için 20-26 Temmuz iç yüzey sıcaklığı değişimi

Doğal havalandırmanın kapalı olduğu 06:00 – 00:00 saatleri arasında iç hava sıcaklığı, kabuk alternatiflerinin dinamik ısıl özelliklerine bağlı olarak farklı oranlarda artarken gece 00:00 da doğal havalandırmanın aktif olmasıyla dışarıdaki serin havanın içeriye girerek ısı taşınımını tersine döndürmesiyle birlikte tüm kabuk alternatifleri için ani bir düşüş göstermiştir. Ancak iç yüzey sıcaklıklarında bu ani düşüş görülmemektedir. Bu durum akşam saatlerinde dış hava sıcaklığının düşmesine rağmen; bina kabuğunun, ısıl kütlesine bağlı olarak gün boyu depoladığı ısıyı, iç yüzeyinde taşınım yoluyla iç ortama transfer etmeye devam etmesi sonucu, iç hava sıcaklıklarının denge noktasına ulaşması için geçen süreyle açıklanabilir.

4. SONUÇLAR

Sıcak iklim bölgelerinde soğutma enerjisi harcamalarını azaltmanın temel yollarından birisi, binada ısı geçişinin gerçekleştiği bina kabuğuna ilişkin doğru kararlar almak ve kabukta gerçekleşen ısı geçişini kontrol edebilmektir. Soğutmanın istendiği dönemde, bina kabuğundaki ısı geçişi miktarı ve iç ortamda oluşan iç yüzey ve iç hava sıcaklıkları değerleri; zaman geciktirmesi, genlik küçültme faktörü, ısıl girişimlilik değeri ve eşdeğer alansal ısı kapasitesi gibi, kabuğun dinamik ısıl özelliklerinin birer sonuçlarıdır. Dolayısıyla bina kabuğunun dinamik ısıl değerlerinin kontrol altında tutulmasıyla soğutma enerjisi harcamalarını azaltmak ve iç yüzey ve iç hava sıcaklık değerlerini düşürmek olanaklıdır. Çalışmada elde edilen genel sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Bina kabuğu alternatifleri için zaman geciktirmesi, ısıl girişimlilik değeri, alansal ısı kapasitesi ve eşdeğer alansal ısı kapasitesine gibi dinamik ısıl özelliklere ilişkin değerler büyüdükçe genlik küçültme faktörü küçülmekte ve soğutma enerjisi harcamaları ve iç yüzey ve iç hava sıcaklıkları değerleri düşmektedir.
- Bina kabuğunun yüzey malzemesinin direncini hesaba katan ısıl girişimlilik değeri (Y) ve bu değerin periyodik rejim şartlarında açısal frekansla işleme alınmış bir türevi olan ve bina

kabuğunun ısıyı depolama kabiliyetine yönelik hassas bir hesap değeri olarak ele alınan eşdeğer alansal ısı kapasitesi (κ'), yaz konfor koşullarında bina kabuğunun soğutma enerjisi harcamaları ve iç konfor koşulları üzerinde doğrudan etkilidir.

- Aynı toplam ısı geçirme katsayısı değerine sahip bina kabuğu alternatifleri karşılaştırıldığında minimum ve maksimum soğutma enerjisi harcamaları arasında %1,8'lik fark oluşmaktadır. Aynı şekilde, yılın en sıcak günü için iç konfor koşulları karşılaştırıldığında, iç sıcaklık değerlerinde yaklaşık 1,5-1,8°C lik farklar oluşmaktadır. Dolayısıyla, aynı U değerine sahip bina kabuğu alternatiflerinin, kabuğun ısıl dinamik özelliklerine bağlı olarak farklı iç konfor koşullarına neden olduğu görülmektedir.
- Ana duvar malzemesinin yanı sıra, ısıl girişimlilik ve eşdeğer alansal ısı kapasitesi üzerinde doğrudan etkili olan iç yüzey kaplama malzemesinin de bina kabuğunun ısıl performansı üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Özellikle iç hava sıcaklıklarına bakıldığında, yüzey malzemesinin direncinin kabuğun gerçekleştirdiği soğutma yükleri ve iç konfor koşulları üzerinde etken olduğu görülmektedir.
- TSE 825 (sabit rejim) esas alınarak tasarlanan bir bina kabuğu yaz dönemi konfor koşulları açısından farklı performans gösterebilmektedir. Dolayısıyla, binaların tüm yıl boyunca konfor koşullarını sağlaması, hem kış hem yaz koşullarının birlikte düşünülmesiyle olanaklıdır.

KAYNAKLAR

1. M. E. Can, "Sıcak - Kuru İklim Bölgelerinde Bina Kabuğu Isıl Performansının Yaz Konfor Koşulları Açısından Değerlendirilmesine Yönelik Bir Çalışma," *Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2015).

2. Ş. Dilmaç, N. Kesen, "A Comparision of New Turkish Thermal Insulation Standard (TS 825), ISO 9164, EN 832 and German Regulation," *Energy and Buildings, vol: 35,* (2003). pp: 161-174.

3. ISO 9164 "Thermal Insulation-Calculation of Space Heating Requirements for Residential Buildings", *International Organization for Standardization*, Switzerland, (1998).

4. EN 832, "Thermal Performance of Buildings Calculation of Energy Use for Heating Residential Buildings," *European Committee for Standardization*, Brussels, (1998).

5. B. Özşahin, M. T. Cihan, E. Mıhlayanlar, "EPS Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Taşıyıcı Duvar Sistemi İle Geleneksel Yapım Sistemlerinde Kullanılan Duvarların Isıl Performanslarının Karşılaştırılması," *Trakya University Journal of Engineering Sciences, 14(2),* (2013). pp: 105-114.

6. M. T. Cihan, Ş. Dilmaç, "Yaz Konforu İle İlgili Kavramlar ve Standard Hesap Metodu," *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 13, Sayı 1,* Bursa, (2008).

7. TSE 825 "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları," *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara, (2013).

8. TS EN ISO 13786, "Bina Bileşenlerinin Isıl Performansı-Dinamik Isıl Özellikler- Hesaplama Metotları," *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara, (2009).

9. TS EN ISO 13790, "Binaların enerji performansı - Mekân ısıtılması ve soğutulması için enerji kullanımının hesaplanması," Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, (2013).

10. A. P. Çelik, "Yaz Sıcaklıklarının Binaya Etkilerinin İncelenmesinde Admittance Yönteminin Türkiye'ye Uygulanması." *Tübitak YAE, Yayın No: a22,* Ankara, (1975).

3.Ulusal
Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi

10-11 Mayıs 2018
İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul

MEVCUT KONUT BİNALARINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ POTANSİYELİNİN ANAHTAR FAKTÖRÜ: KULLANICI DAVRANIŞI

Doç. Dr. Gülsu Ulukavak Harputlugil[a]
Çankaya Üniversitesi Mimarlık Fakültesi
Ankara, Türkiye

ÖZET

Son yıllara kadar, enerji verimliliğini sağlamak üzere yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğu yeni bina tasarımlarında enerji verimliliğini artırmak ve karbon salımlarını en aza indirmek üzerine yoğunlaşmıştı. Aslında yeni tasarlanacak binalar kadar, mevcut bina stokunda alınması gereken önlemlerin çok daha büyük önem taşımakta olduğu artık kabul edilmektedir. Yeni tasarlanan binalarda, kullanıcı profili belli olmakla birlikte (örneğin bir okul binası için öğrencilerin yaş aralığı ve sayısı gibi) enerji verimliliğine dayalı yapılan hesaplamalarda, kullanıcı davranışı genellikle varsayılmak zorundadır. Bu nedenle bir bina kullanıma geçmeden, gerçek tüketim verileri hiç bir zaman öngörülemez. Mevcut binalarda ise, durum daha farklıdır, çünkü mevcut binaların kullanımına ilişkin tüm somut bilgiler (kullanıcı sıklığı, sayısı, davranış profilleri) eldedir. Bu bilgi, mevcut binaların iyileştirilebilmesi için önemli bir kaynaktır.

Bu çalışma çerçevesinde, kullanıcı davranış profillerinin neler olduğu ve enerji verimliliğini etkileme düzeyleri tanımlanmaktadır. Araştırmalarda kullanmak üzere, kullanıcı davranışı profillerinin oluşurulmasında kullanılan yöntemler (anket, yüz-yüze görüşme, günlük tutma, data kaydetme, sensörler, vb.) örnekler üzerinden, avantaj ve dezavantajları ile tartışılmaktadır. Sosyal, kültürel ve psikolojik farklılıkları gözeterek tanımlanan konfor beklentileri üzerinden, kullanıcı davranış profillerinin sınıflandırmasının nasıl yapılabileceğine yönelik öneriler sunulmaktadır.

Anahtar sözcükler: Kullanıcı Davranışı, Enerji Verimliliği, Konut

ABSTRACT

Until recent years, the vast majority of energy efficiency efforts have focused on improving energy efficiency in new building designs and minimizing carbon emissions. In fact, it is now accepted that the measures to be taken in existing building stock are as important as the newly designed buildings. In newly designed buildings, occupant behavior usually has to be assumed when calculating energy efficiency based on user profile (eg age range and number of students for a school building). For this reason, unless the building is in use, actual consumption data can never be foreseen. In existing buildings, the situation is different because all the information about the use of existing buildings (user frequency, number, behavior profiles) is available. This information is an important resource for the improvement of existing buildings.

In this framework, it is defined what the user behavior profiles are and how they affect the energy efficiency. The methods (questionnaire, face-to-face interview, diary, data recording, sensors, etc.) used in developing of user behavior profiles in order to use in research are discussed with their advantages and disadvantages through examples. Suggestions are given on how to classify user behavior profiles on comfort expectations that are defined by considering social, cultural and psychological differences.

Key words: Occupant Behavior, Energy Efficiency, Residential Buildings

[a] e-posta adresi: gharputlugil@cankaya.edu.tr

1. GİRİŞ

2015 yılında imzalanan Paris İklim Sözleşmesinde, daha önceki sözleşmelere kıyasla, tanımlayıcı bir yöntem yerine, karbon salımını azaltmaya yönelik her türlü önlemin alınması gerekliliği ortaya kondu. Buna bağlı olarak hazırlanan BPIE (Building Performance Institute Europe) raporunda, mevcut binaların neredeyse %97'sinin 2050 dekarbonizasyon hedeflerine uyabilmesi için iyileştirilmesi gerektiği söylenmektedir. Mevcut binalarda, bina stoğunun karbon salımını azaltabilmesine yönelik stratejiler bağlamında iyileştirilebilmesi, ancak uygun renovasyon tekniklerinin geliştirilebilmesi ile mümkündür. Bu noktada, kullanıcı davranışı odaklı yaklaşımlara dayalı araştırmalar giderek artmaktadır, çünkü bina performanslarındaki beklenen düzey, sadece doğru tasarım stratejileri ile sağlanamamakta ve bu noktada kullanıcı davranışı önemli bir etken olarak görülmektedir [1]. Konutlarda kullanıcı konforunu sağlamaya yönelik olarak, fosil tabanlı yakıta dayalı olarak mekan ısıtması, sıcak su elde etme ve pişirme işlevleri için enerji tüketilmekte; aydınlatma, çeşitli elektrikli araçlar ve iklimlendirme sistemleri için ise elektrik tüketilmektedir. Bu tüketimin sınırlandırılmasında, kullanıcı alışkanlıkları ve davranışlarının etkin olup olmadığının araştırılması son yıllardaki pek çok araştırmanın konusu olmuştur.

Bu çalışma kapsamında, kullanıcı davranışının enerji verimliliği ve karbon salımı üzerindeki etkilerinin değerlendirilebilmesinde kullanılan yöntemler, literatür çalışmalarına dayalı olarak değerlendirilmekte ve söz konusu yöntemlerle elde edilen sonuçlar örnekler üzerinden tartışılmaktadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Konu ile ilgili araştırma, iki temel kavram üzerinden yürütülmüştür. Bunlardan birincisi "kullanıcı davranışı"nın tanımı ve enerji verimliliği perspektifinden etkin olduğu alanların literatürde nasıl ele alındığını araştırma üzerinedir. İkinci kavram, veri toplama yöntemlerinin araştırılmasıdır. Kullanıcı davranışının tespitine yönelik literatüre giren veri toplama yöntemleri özetlenmektedir.

2.1. Kullanıcı Davranışı

Herhangi bir mekandaki enerji tüketim oranının, oradaki kullanıcı ile doğrudan ilişkili olduğu kabul edilmektedir [2]. Kullanıcı davranışını göz ardı eden varsayımlara dayalı çalışmaların başarılı sonuçlara ulaşmasının güç olduğu çeşitli çalışmalarda özellikle vurgulanmaktadır [3]. Kullanıcının mekan içindeki varlığı, ortamla iletişimi için ön koşuldur. Page [4]'ye göre, bir binadaki kullanıcının varlığı ve davranışı; i) HVAC sistemlerinin kontrolünü, ii) içsel ısı kazancının ve kirliliğin oluşmasını, iii) güneş kırıcıların yönlenmesini (güneş kazançlarını etkileme açısından), iv) yapay aydınlatmanın kullanılmasını (elektrik tüketimi ve içsel kazanç açısından), v) pencere ve kapıların kullanımını (havalandırma hızı ve ilişkili ısı kayıp ve kazançları açısından), vi) çeşitli ekipman kullanımı (elektrik tüketimi ve sıcak-soğuk su tüketimi, içsel kazançlar ve gri ve atık su üretimi açısından) nedeniyle önemlidir.

Kullanıcı davranışı ve enerji tüketimi ilişkisine dayalı yapılan istatistik analiz çalışmalardan biri Santin [5]'e aittir. Çalışmasında yer alan analiz sonuçlarına göre, kullanıcı davranışının enerji tüketimi üzerindeki etkilerinin belirleyicileri, i) sıcaklık kontrolünün tipi, ii) mekanik

havalandırmanın tipi, iii) ev sakinlerinin karakteristikleri (yaşlı, çocuk varlığı gibi)dir. Gerçekleştirdiği analize göre, kullanıcı davranışını 5 davranışsal faktöre bağlamaktadır: i) "ekipmanlar ve mekan" mekan kullanımı ve çok çeşitli ekipmanın varlığı, ii) "enerji yoğunluğu" davranışa dayalı enerjinin yoğun kullanımı, iii) "havalandırma" daha fazla süre havalandırmanın işletilmesi iv) "medya" daha çok bilgisayar ve elektroniklerin kullanımı, daha az mekan ve havalandırma kullanımı v) "sıcaklık konforu" daha sıcak bir iç ortam tercihi ve daha az havalandırma.

Tesi [6] yaptığı çalışmada, kullanıcı davranışı ile enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi sorgularken, konunun kültürel farklılıkları da içeren, sosyal boyutunun da göz önünde bulundurulması gerektiğine vurgu yapmıştır. Ayrıca, kullanıcının davranışının nerede olduğu ile ilgili de çeşitlilik göstermesi, bir başka dikkat edilmesi gereken durumdur. Bir kullanıcının iş yerindeki davranışı ile, konutundaki davranışının farklı olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. İşyerindeki ve konuttaki farklı davranışların gerekçesi, Hong vd [7] tarafından şöyle özetlenmektedir: i) farklı aktiviteler gerektirmesi ve fatura ödemelerini kimin yaptığı; ii) enerji tüketen sistem kontrolündeki farklılıklar, iii) ev ortamındaki ile iş yerindeki toplu davranışların getirdiği farklılıklar. Günay vd.[8] de aynı şekilde, özellikle konut kullanıcılarının farklı bir davranış sergiliyor olmasını, fatura ödeme zorunluluğu, farklı aktiviteler, sosyal ve kültürel faktörler ile mahremiyet gereksinimi olarak gerekçelendirmektedir. Bu farklılıkların veri toplama aşamasında ve yöntem seçiminde özellikle dikkate alınması gerekmektedir.

Kullanıcı davranışı, ihtiyaç duyulan konforu sağlamak için, değişken iç çevre şartlarını adapte etmeye çalışma üzerine yürütülen eylemler olarak tanımlandığında, bu eylemleri "iç faktörler"e ve "dış faktörler"e bağlı olarak kategorize etmek mümkündür. Bunlar, biyolojik, psikolojik ve sosyal faktörler olarak kullanıcının "iç faktörleri"; fiziksel çevre, bina ekipmanları ve zaman olarak da kullanıcının "dış faktörleri" olarak tanımlanmaktadır [6, 9].

Konut kullanıcı davranışı genellikle 3 temel kategoride değerlendirilmektedir: i) kullanıcının kendisi (kullanıcı olmadan eylem olmaz), ii) enerji/ tesisat sistemlerinin işletimi, iii) pencerelerin, perdelerin veya gölgeleme elemanlarının açılıp kapatılması [10]. Literatüre bakıldığında pek çok çalışmada sadece tek bir bileşene dayalı (pencere, perde, aydınlatma, vb.) kullanıcı davranışının etkilerinin anket çalışmaları veya yerinde ölçümlerle incelendiği görülmektedir [11-13].
Kullanıcının enerji tüketen sistemlerle olan etkileşim düzeyine bağlı olarak kullanıcı davranışı sistem performansını etkiler. Kullanıcı davranışından doğrudan etkilenen sistemler ve davranış ilişkileri aşağıda özetlenmektedir [6].

Camlardan ısı kaybı → Kepenk kullanımı
Doğal havalandırmaya dayalı ısı kaybı → pencerelerin açılması
Güneşten ısı kazancı → gölgeleme elemanlarının kullanılması
İçsel kazançlar → kullanıcı, aydınlatma, ekipman
Doğal aydınlatmanın yetersizliği → perde kullanılması

Bu etkileşimler içerisinde, sadece kullanıcının kendisinin, içsel kazanca etkisi açısından, pasif etkisi vardır. Diğer tüm etkileşimler, kullanıcının davranışına bağlı aktif etkilerdir.

2.2. Veri Toplama Yöntemleri

Veri toplama teknikleri 2 temel kategoride ele alınabilir: anket çalışmaları ve izleme (ölçüm yapılması). Anket çalışmaları ile genellikle subjektif veri toplanabilir ve nedensel çıkarımlar (kişiler neden ve nasıl davranır) ile demografik bilgiler elde edilebilir. Yerinde ölçüm ve izleme ile kullanıcı davranış kalıplarının frekansı, süresi ve tipi ile ilgili bilgi toplanabilir.

Konutlarda kullanıcının özelliklerinin tanımlanması önemlidir. Laboratuvar çalışmalarından farklı olarak, araştırmacılar, yerinde izleme için kullanılan sensörlere ve diğer ekipmanlara sınırlı erişime sahip olabilir. İzleme ekipmanının ayarlanması veya değiştirilmesi, süreci etkilemekte ve zaman almaktadır. Sık ziyaretler, kullanıcılara izlendiklerini hatırlatır. Bu nedenle, kullanıcılar ve onların davranışları, izlenmekte oldukları (edinilmek istenen) bilginin gerçekliğini bozacak ölçüde etkilenebilir (*Hawthorne etkisi*[b]) [14]. Sonuç olarak, konut binalarında, anketler uygulayarak veri toplanması, daha çok, kullanıcı profillerini ve bunların nedenlerini ortaya koymak için araştırmacılar tarafından tercih edilmektedir.

İki temel veri toplama yönteminin avantajları ve sınırlılıkları Çizelge 1 ve Çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 1. Anket çalışması avantajları ve sınırlılıkları [14]

Yöntem	Avantajları	Sınırlılıkları
Yüz yüze görüşme: (belirlenmiş sorularla veya ropörtajın gelişimine göre şekillenen sorularla)	Cevaplayanlar kendi cevapları ile sınırlı kalamaz Görüşmeyi yapan karşısındakinin soruyu tam olarak anladığından emin olur ve gerekirse açıklama yapar.	Görüşmeyi yapan kişinin etkilemesi söz konusu olabilir. Çok sayıda yapılması zordur.
Hedef grup: bir moderator eşliğinde konu ile ilgili grup toplantısı yapılması	Esnektir, cevaplayanlarca konu şekillenebilir.	Grup etkisi ve moderator etkisine bağlı etkilenlemeler olabilir. Çok sayıda yapılması zordur.
Günlük tutulması: belirlenmiş bir formatta doldurulan anket formları (Zaman kullanım anketi – Time Us Survey-TUS)	Eğer aynı günlük format kullanılabilirse, tekrar edilebilir ve karşılaştırılabilir.	Katılımcıdan bir taahhüt istenmesi gerekir. Günlükte doldurulan bilgi ile aktiviteler çelişebilir.
Anket: formatlanmış sorular ve cevaplar	Çok sayıda çoğaltılabilir. Çok yolla iletişime geçilebilir: yüz yüze, telefon, e-mail, posta.	Soruları takip etme şansı yoktur. Posta ve e-mail ile alt örnekleme olasılığı vardır. Sınırlı cevap alınır.
Gözlem:yerinde gözlem veya izleme araçları ile pasif gözlem	Kişilerin raporlamalarına dayanmaz. Elde edilen içerik oldukça esnektir.	Hawthrone etkisi devreye girebilir.

[b] Gözlemlenme farkındalıkları nedeniyle bir çalışmanın özneleri tarafından davranış değişikliği (oxford sözlük tanımı)

Çizelge 2. Yerinde ölçüm ve izleme yapılmasının avantajları ve sınırlılıkları [14]

Yöntem	Avantajları	Sınırlılıkları
Pasif infrared (PIR): Sıcak objelerden ısı dalgasının tespit edilmesi. PIR sensörleri hareketi takip eder.	Düşük maliyetli, kolay kurulur, bakımı kolaydır. Veri analizi kolaydır.	Çoklu kullanıcıyı ayırtedemez. Kullanıcı içerdeyken bile negatif bilgi verebilir veya bir evcil hayvanı kullanıcı kabul edebilir.
Karbondioksit sensörü: Karbodioksit konsanstasyonundaki değişimi takip eder.	Düşük maliyetli ve uygulaması kolaydır.	Havalandırmaya ve infiltrasyon oranına göre ölçümler etkilenebilir.
Enerji metre: kullanıcının elektrik tüketiminin çıkarılması	Kesintisiz bilgi sağlar Hali hazırda kullanılan bir teknolojidir.	Akıllı ölçüm cihazı olan konutlarla sınırlıdır.
Device free Localisation: Kullanıcının absorblamasına bağlı olarak radio frekans sinyallerindeki değişimi takip eder.	Kesintisiz bilgi sağlar. Hareketlerin haritalandırılmasına imkan verir. Strükürel elemanlarla sınırlı değildir.	Bileşenlerin kusursuz bir yerleşimi gerekir. Dğer kaynaklardan olası etkileşimler söz konusu olabilir.
Giyilebilir kayıt cihazları: GPS gibi jeolojik sönsörler veya iç navigasyon	Halihazırda var olan bir teknolojidir (pek çok akıllı telefonda)	Hawthrone etkisi devreye girebilir. Mahremiyet sorun oluşturabilir.
Sabit sensörlü giyilebilir kayıt cihazları: giyilebilir alet ile bluetooth, kablosuz veya ultrasound network kombinasyonu	Kusursuz bir algılama söz konusudur.	Katılımcılar bir alet taşımak/giymek zorundadır. Kurulum ve bakım zahmetlidir.

2.3. Kullanıcı Profilleri ile İlgili Değişkenlerin Tanımlanması ve Sınıflandırılması

Kullanıcı profilleri, hanehalkı özellikleri, kültürel gelenekler, sosyal ve ekonomik değişkenler gibi çeşitli etken faktörler tarafından belirlenir. Öte yandan, kullanıcının tercihleri ve tutumları, ekipman ve klima sistemlerinin kullanımını etkilemekte ve dolayısıyla bina enerji tüketimi etkilenmektedir [15]. Genel olarak, iki tür değişken tanımlamak mümkündür:

Değişken (Tip-1)- Kullanıcı profillerini etkileyen değişkenler

• *Sosyo-demografik değişkenler,* insanların evlerinde bulundukları zaman konutlardaki kullanımın belirleyicileridir [16]. Değişkenler hane demografisini ve istihdam durumunu içerir. 60 yaşın üzerindeki yetişkinler ve küçük çocukları olan aileler hafta içi ve hafta sonları evlerinde daha fazla zaman geçirme eğilimindedir. İstihdam ile ilgili olarak, çalışma durumu (tam zamanlı çalışma, yarı zamanlı, emekli) ve çalışma saatleri hafta boyunca tüm kullanıcıların programlarını şekillendirir.

• *Çevresel ve fizyolojik değişkenler,* kullanım modellerini (zaman ve/veya mekan) ve konfor seviyesi tercihlerini etkiler [17]. Kullanıcıların konforu, çevresel özelliklere (iklim ve bina tipolojisi) dayanmaktadır ve, psikolojik özellikler, yaş, cinsiyet ve geçmiş deneyimlerden elde edilen beklentiler ile ilgilidir.

Değişken (Tip-2)- Kullanıcı profillerinden etkilenen değişkenler

• *Bulunuş değişkenleri,* konutlardaki enerji tüketimi tamamıyla binanın nasıl kullanıldığına bağlıdır. Özellikle, aktivite türü, farklı odalarda oturanların bulunma saatleri ve kullanım yoğunluğu, insanlar ile bağlantılı olarak hissedilen duyulur ve gizil sıcaklığın iç ortamın enerji dengesi üzerindeki etkisi dikkate alınmalıdır. Kullanıcının varlığı ısıtma gerektiren dönemde ısıtma yükünü azaltarak olumlu katkı sağlarken, yaz aylarında soğutma talebini artırırlar.
• *Konfor değişkenleri,* konutlarda çevre koşullarına bağlı konforu kontrol eden parametreler (hava sıcaklığı, ısıtma ve soğutma sistemleri işletim, havalandırma, vb.) dikkate alınmalıdır.
• *Ekipman değişkenleri,* elektrikli ekipman kullanımı, yemek pişirme ve sıcak su talebi de dahil olmak üzere, konutlarda konforu sağlayan olanakların kullanımı düşünülmelidir.

3. ÖRNEK ÇALIŞMA

Konut kullanıcı davranışının enerji tüketimi üzerindeki etkisinin belirlenmesi ve farklı davranış kalıplarından hangilerinin enerji tüketiminde etken rol oynadığının saptanabilmesi için 2014-2016 yılları arasında yürütülen "*Türkiye'de Konut Kalitesinin İyileştirilmesine Yönelik Kullanıcı Davranışının Enerji Ve Konfor Üzerindeki Etkisine Dayalı Bir Yöntem Geliştirilmesi*" [2] başlıklı projeden elde edilen sonuçlar, yukarıda sözü edilen kullanıcı profilleri sınıflandırması üzerinden tartışılmaktadır.

Araştırmanın birinci bölümünde, Türkiye'deki dört iklim bölgesini temsil edecek şekilde dört ilde (Ankara, İstanbul, İzmir, Kayseri) TOKİ'nin inşa etmiş olduğu toplu konutlarda, toplam 1000 haneye anket uygulanmıştır. Yapılan anket çalışması, dört farklı iklim bölgesinde yer alan, aynı plan tipolojisine sahip konutlarda, enerji tüketimi ile ilişkilendirilebilecek kullanıcı davranış kalıplarının tanımlanabilmesini sağlamıştır. Öngörülen davranış kalıpları, kullanıcıların evde bulunma süreleri, toplam kullanıcı sayısı gibi *Tip-1 değişkenler* ile (Çizelge 3); ısıtma için kullanılan yöntem ve ilişkili davranış, serinletme için kullanılan yöntem ve ilişkili davranış, havalandırma için kullanılan yöntem ve ilişkili davranış, aydınlatma için kullanılan yöntem ve ilişkili davranış gibi *Tip-2 değişkenlerine* (Çizelge 4) ait bilgiler olarak özetlenebilir. Ayrıca konutun ısıl, görsel ve işitsel konforundan duyulan memnuniyet oranı da yine bu anket içerisinde sorgulanmıştır [15].

Çizelge 3. Kullanıcılara ait Tip-1 değişkenler

		Ankara	İstanbul	İzmir	Kayseri	Genel
Görüşülen bireylerin cinsiyeti	Kadın	%62,4	%66,4	%52,8	%64,8	%61,6
	Erkek	%37,6	%33,6	%47,2	%35,2	%38,4
Görüşülen bireylerin yaş ortalaması		38	38	40	40	39
Konutta yaşayan bebek (0-2 yaş)		37	24	14	19	94
Konutta yaşayan çocuk (2-6 yaş)		62	110	76	62	310
Konutta ikamet süresi		2,9	3,5	3,4	4,9	3,7
Ev sahibi olma durumu		%64,8	%72	%67,2	%72,4	%69,1
Konut kullanıcı sayısı		3,37	3,09	3,37	3,72	3,39
Evde bulunma süresi (hafta içi) (saat)		16,6	14,24	15,8	14,9	
Evde bulunma süresi (cumartesi) (saat)		20,7	16,3	20,8	15,9	
Evde bulunma süresi (Pazar) (saat)		21,6	17,5	22,4	17,2	

Çizelge 4. Tip-2 değişkenlere örnek: konutu ısıtmak için kullanılan konfora dayalı yöntemler

Konutu Isıtmak İçin Kullanılan Yöntemler	Ankara		İstanbul		İzmir		Kayseri		Toplam	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Pencere açıp kapatma (dış sıcaklığa göre)	23	9,2	2	0,8	7	2,8	25	10	57	5,7
Isıtma için kombi/klima termostatı	72	28,8	39	15,6	133	53,2	117	46,8	361	36,1
Radyatör termostat ayarı	111	44,4	232	92,8	127	50,8	36	14,4	506	50,6
Radyant ısıtıcı (UFO, vb.)	3	1,2	3	1,2	0	0	1	0,4	7	0,7
Sabit Isıtıcı (kalorifer/ klima vb)	47	18,8	3	1,2	2	0,8	4	1,6	56	5,6
Hareketli vantilatör (sıcak hava üfleyen)	1	0,4	0	0	0	0	0	0	1	0,1
Hiçbiri	4	1,6	1	0,4	0	0	72	28,8	77	7,7
Toplam	250	25	250	25	250	25	250	25	1000	100

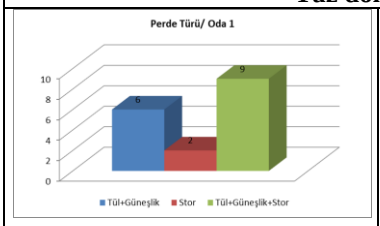
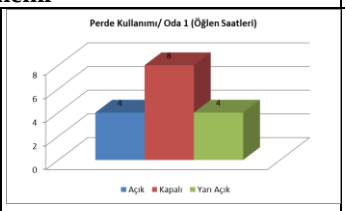
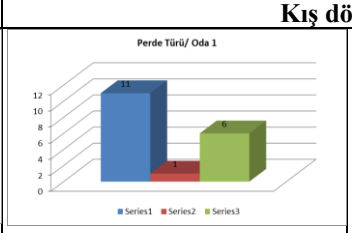
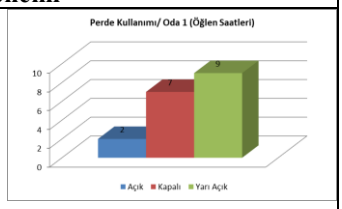
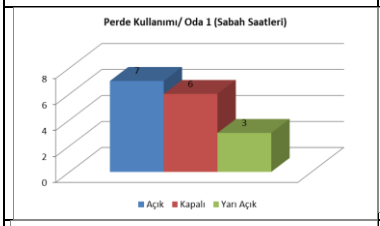
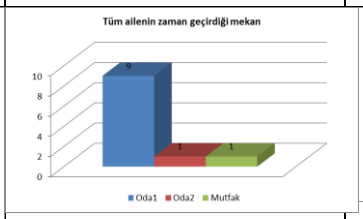
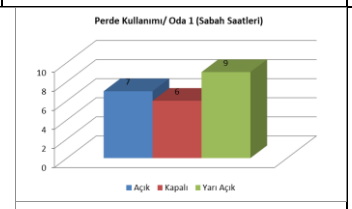
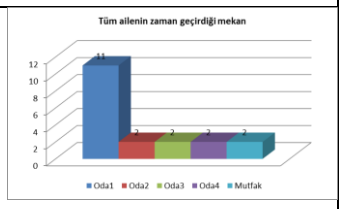
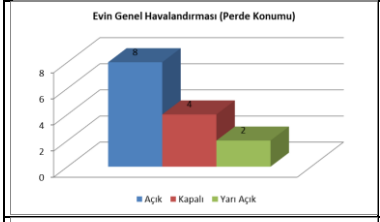
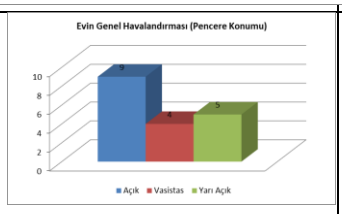
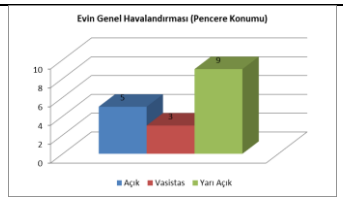
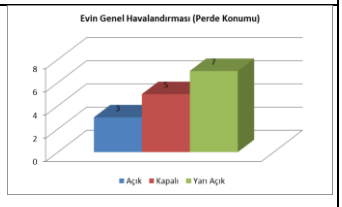
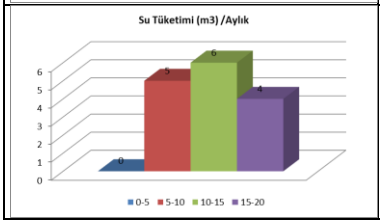
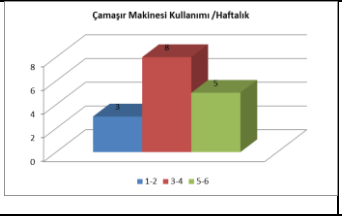
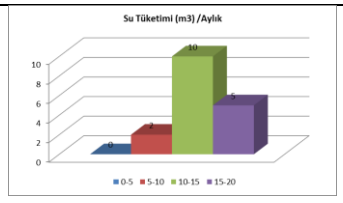
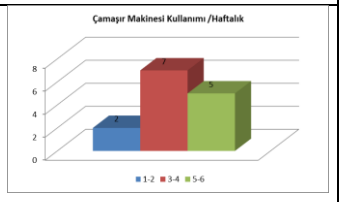
N: Denek Sayısı %: Yüzdelik değer

Araştırmanın ikinci bölümü ise, sadece Ankara'da yer alan toplu konutlarda, toplam 26 dairede yaz ve kış boyunca veri toplama cihazları ile ölçümlerin yapılması ve kullanıcı davranışlarına yönelik detaylı gözlem ve görüşmelerin gerçekleştirilmesidir. Bu aşamada, konutlara yaz ve kış olmak üzere iki kezi bir hafta süre ile yerleştirilen veri toplama cihazları yanısıra, o hafta boyunca kullanıcıların hazırlanmış bir zaman cetveline, davranışlarını işarelemeleri istenmiştir. Böylece ölçümle eş zamanlı olarak evde bulunma süresi, pencere açma, perde kullanımı konularında zaman cetveli çıkarılması sağlanmıştır. Ayrıca hane halkı ile yapılan yüz yüze görüşmede sorulan detaylı sorular ile, mekan kullanımları, havalandırma alışkanlıkları, perde konumu, su tüketimi vb. bilgiler edinilmiştir (Çizelge 5).

Çalışmanın son aşamasında elde edilen bulgularla beraber, konutların simülasyon programında modellenmesi ve ilgili davranış kalıplarına yönelik örneklemler oluşturularak, davranışların yaz ve kış koşullarında ısıtma yükü ve ısıl konfor üzerindeki hassasiyetlerinin belirlenmesi sağlanmıştır. Burada eldeki verilere dayalı olarak dikkate alınan kullanıcı davranış kalıpları; i) evde bulunan kişi sayısı; ii) hafta içi ve hafta sonu (cumartesi ve Pazar ayrı olmak üzere) evde bulunma süreleri; iii) perde kullanımı (güneş ışınımı geçirgenlik ve yansıtıcılık özelliği üzerinden), iv) kışın pencere ile havalandırma biçimi (açık/yarı açık) ve süresi; v) yazın pencere ile havalandırma biçimi (açık/yarı açık) ve süresi; olarak belirlenmiştir.

Yapılan analizler sonucunda enerji tüketimini en fazla etkileyen değişkenin hem yaz, hem de kış koşullarında *pencerelerin açma/kapama eylemi* olduğu belirlenmiştir. Ayrıca perdelerin mahremiyete dayalı olarak kapalı tutulmasının yazın ortam sıcaklığının düşük kalabilmesinde etkili olmasına rağmen günışığından yeterince yararlanamamaya neden olduğu tespit edilmiştir. Kışın ise, yine perdelerin geçirimsizliği arttıkça güneşten ısı kazancının yetersiz olduğu ve doğrudan ısıtma yükü üzerinde etkin olduğu da görülmüştür.

Çizelge 5. Kış dönemi ve yaz dönemi ölçüm alınan konutlarda yüz yüze görüşme ile elde edilen kullanıcı davranışları

Yaz dönemi		Kış dönemi	
			
			
			
			

4. SONUÇLAR

Yapılı çevrede enerji korunumu, hem politik hem de bilimsel gündemin önemli başlıklarından biri haline gelmiştir. Maliyet etkinliği, güvenlik ve karbon salınımının azaltılması zorunluluğu enerji korunumunun temel gerekçelerindendir. Enerji; ısıtma, soğutma ve çeşitli şekillerde kullanılan elektrik enerjisinin işletim giderlerinin düşürülmesi ile korunabilir. Enerji kullanımı tek başına bir çevresel sorun olmasa da, küresel ısınma, hava kirliliği, zehirli gazlar veya kaynakların tükenmesi gibi çeşitli çevresel sorunlara katkıda bulunmaktadır. Bu sorunun çözümüne yönelik daha önce yapılan çalışmalardan elde edilen bilgiler içerisinde en çarpıcı olanı; konut kullanıcılarının karakteristiği ve kullanıcı davranışının enerji kullanımı ve iç ortam kalitesini oldukça etkilediğinin kabul edilmesidir. Şimdiye dek, bu etkinin anlaşılması ve ölçülebilmesi için oldukça kısıtlı sayıda girişim olmuştur. Bu alanda halen bilgi ve yöntem geliştirme gerekliliği vardır. Bu perspektifte mevcut binaların enerji verimliliğini artırmak ve karbon salımını azaltmak yönündeki hedeflerin anahtar faktörünün kullanıcı davranışı olduğu söylenebilir.

Programlama ve tasarımdan, onarım ve yeniden işlevlendirmeye kadar uzayan yapı elde etme süreci içinde mevcut bina stoğunun onarım sürecine kullanıcı davranışı bu çalımanın konusu kapsamında ele alınmıştır. Konuyu mevcut bina stoğu ile çerçevelemenin temel nedeni gerçek kullanım profilinin biliniyor olmasına dayanmaktadır. Tasarım sürecinde, binanın gelecekteki kullanıcı davranışı ancak tahmin edilebilmektedir. Eğer kullanıcı davranışı profilleri tanımlı değilse, kullanım sürecine geçmeden, hiç kimse bina ile kullanıcı etkileşiminin gerçekte nasıl olacağını tam olarak belirleyemez. Diğer taraftan, onarım sürecinde, gerçek kullanıcı davranışı bir belirleyen olarak mevcuttur. Bu bilgi, niceliksel yöntemlerle belirlenebilir ve hem onarım düzeyinin belirlenebilmesi için hem de yeni konutların tasarımında girdi verisi olarak önemli bir kaynak oluşturur.

Bu çalışma sonucunda, kullanıcı davranışına dayalı kabuller aşağıda sıralanmaktadır:

Kullanıcı davranış modelleri enerji tüketimi ve iç ortam konfor düzeyi/kalitesini (ısıl, görsel, işitsel) doğrudan veya dolaylı etkiler.

- Kullanıcı davranış modelleri niceliksel yöntemlerle belirlenebilir.
- Kullanıcı davranışının dayanıklılığına (*robustness)* dayalı veri, konutların onarımı (*renovasyonu)* sırasında bilgiye dönüştürülerek kullanılabilir.
- Konutlarda enerji etkinliğinin tanımı için, kullanıcı davranışı profillerine dayalı enerji etkinlik düzeyi sınıflandırması yapılabilir.

Bu bağlamda, kullanıcı davranışlarının belirlenebilmesi, niceliksel olarak ölçülebilmesi ve sınıflandırılabilmesi için uygulanabilecek yöntemler bu çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Ayrıca tanımlanan yöntemlere dayalı olarak yapılan bir örnek çalışmada elde edilen sonuçlar özetlenmiştir. Mevcut konutların iyileştirilmesinde, renovasyon düzeyine göre, kullanıcı davranışının enerji tüketimi üzerindeki etkisini ortaya çıkartacak kullanıcı davranış kalıpları tanımlanabilmesi mümkündür. Benzer çalışmaların aynı yöntemler kullanılarak, konutlar yanısıra diğer bina tipleri için de yürütülmesi ile, kullanıcının farklı ortamlardaki davranış değişimlerinin tespit edilebilmesi ve buna yönelik değerlendirmelerin yapılabilmesi de gerekir. Mevcut binalarda kullanıcı davranışlarına ait edinilen daha detaylı bilgiler ışığında, sadece binaların değil, kullanıcı profillerine bağlı kullanıcıların da enerji sertifikalandırılmasının mümkün olup olmadığı da değerlendirilebilir.

TEŞEKKÜR

Yazar, 133K799 Nolu “Türkiye’de Konut Kalitesinin İyileştirilmesine Yönelik Kullanıcı Davranışının Enerji Ve Konfor Üzerindeki Etkisine Dayalı Bir Yöntem Geliştirilmesi” başlıklı TÜBİTAK Projesi kapsamında yapılan çalışmaların bir kısmını içeren bu araştırmaya desteklerinden dolayı TÜBİTAK’a teşekkür eder.

KAYNAKLAR

1. Guerra Santin, O. Itard, L. Occupant’s behaviour: Determinants and Effects on Residential Heating Consumption, Building Research and Information, 38 [3], (2010), pp.318-338.
2. Ulukavak Harputlugil, G. (yürütücü), Harputlugil, T. (araştırmacı), “Türkiye’de Konut Kalitesinin İyileştirilmesine Yönelik Kullanıcı Davranışının Enerji Ve Konfor Üzerindeki Etkisine Dayalı Bir Yöntem

Geliştirilmesi", TÜBİTAK Ulusal Genç Araştırmacı Kariyer Geliştirme Programı, Proje no: SOBAG-113K799, 2014-2016.
3. Annex 66, 2017, Definition and Simulation of Occupant Behavior in Buildings The International Energy Agency (IEA), www.annex66.org.
4. Page, J., Simulating occupant presence and behaviour in buildings, PhD thesis dissertation, École Polytechnique Fédérale De Lausanne, Switzerland, (2009).
5. Santin, O. G., Actual Energy Consumption in Dwellings, The effect of Energy Performance Regulations and Occupant Behaviour, PhD Thesis, OTB Research Institute, Delft University of Technology, The Netherlands, (2010).
6. Tesi, D., 2017, "Occupants Behaviour Influence on Buildings Energy Performance: Investigation in Residential and Office Buildings, PhD thesis dissertation, University of Calabria, Department of Mechanical, Energy and Management Engineering, Italy.
7. Hong, T., Taylor-Lange, S. C., D'Oca, S., Yan, D., & Corgnati, S. P. (2016). Advances in research and applications of energy-related occupant behavior in buildings. Energy and Buildings, 116, 694-702.
8. Gunay, H. B., O'Brien, W., & Beausoleil-Morrison, I. (2013). A critical review of observation studies, modeling, and simulation of adaptive occupant behaviors in offices. Building and Environment, 70, 31-47.
9. Annex 53, 2010, Total Energy Use in Buildings: Analysis & Evaluation Methods, The International Energy Agency (IEA), www.ecbcsa53.org 2010.
10. Chen, S., Yang, W., Yoshino, H., Levine, M. D., Newhouse, K., & Hinge, A. (2015). Definition of occupant behavior in residential buildings and its application to behavior analysis in case studies. Energy and Buildings, 104, 1-13.
11. Rijal, H. B., Tuohy, P., Humphreys, M. A., Nicol, J. F., Samuel, A., & Clarke, J. (2007). Using results from field surveys to predict the effect of open windows on thermal comfort and energy use in buildings. Energy and buildings, 39(7), 823-836.
12. Fabi, V., Andersen, R. V., Corgnati, S., & Olesen, B. W. (2012). Occupants' window opening behaviour: A literature review of factors influencing occupant behaviour and models. Building and Environment, 58, 188-198.
13. Iwashita, G., & Akasaka, H. (1997). The effects of human behavior on natural ventilation rate and indoor air environment in summer—a field study in southern Japan. Energy and Buildings, 25(3), 195-205.
14. S. Gauthier, V. Aragon, J. Patrick, B. Anderson, Occupancy patterns scoping review project, Department for Business, Energy & Industrial Strategy. 2016.
15. Ulukavak Harputlugil Gülsu, Harputlugil Timuçin, (2016), Çevresel konfor ve enerji tasarrufu bağlamında konut kullanıcıları davranış profilleri üzerine bir araştırma, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, Volume 31, issue:3, p.695-708 (SCI-E) http://dx.doi.org/10.17341/gummfd.06821
16. V. Aragon, P. Warren, S. Gauthier, P. James, B. Anderson, Unpacking UK domestic occupancy patterns, Building Research and Information. (2017). (Under review).
17. S. Gauthier, Investigating the probability of behavioural responses to cold thermal discomfort, Energy and Buildings. 124 (2016) 70–78.

3.Ulusal
Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi

10-11 Mayıs 2018
İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul

KENTSEL GEOMETRİ- BİNA ENERJİ PERFORMANSI ETKİLEŞİMİ: KURTULUŞ ÖRNEĞİ

Araş. Gör. İdil Erdemir Kocagil[a]
Prof. Dr. Gül Koçlar Oral[b]
İTÜ Mimarlık Fakültesi
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

ÖZET

Güneş, gerek pasif yollarla bina ısıtma enerjisi yüklerinin azaltılması gerekse günışığından yararlanarak aydınlatma enerjisi yüklerinin azaltılmasında dolayısıyla binaların toplam enerji yükleri üzerinde etkili bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Bu nedenle, binaların toplam yüklerini minimize etmek amacıyla güneş ışınımı ve günışığı etkileri, tasarım sürecinde çevresel koşullara bağlı olarak alınacak doğru kararlar ile optimize edilmelidir. Özellikle, yerleşme dokularını oluşturan komşu binaların yükseklikleri (H) ve aralarındaki mesafe (W) ile tanımlanan kentsel geometri gölge derinliklerine bağlı olarak binaların pasif sistem olarak performansları ve enerji harcamaları üzerinde etkili olmaktadır. Bu amaçla H/W oranları, yerleşim dokularının binalar üzerindeki etkisini analiz edebilmek için binaların yeterli miktarda güneşten yararlanmalarına olanak verecek şekilde uygun değerlerde belirlenmelidir. Bu çalışmada, kentsel geometrinin bina enerji performansı üzerindeki etkisi, Kurtuluş'ta bulunan mevcut bir yapı adası üzerinden farklı H/W oranlarına sahip senaryolar geliştirilerek analiz edilmiştir. Her bir senaryodan elde edilen sonuçlar kazanılan güneş ışınımına bağlı olarak bina enerji yükleri ve günışığı etkisine bağlı olarak aydınlatma yükleri açısından karşılaştırılarak irdelenmiştir.

Anahtar sözcükler: Kentsel geometri, Pasif bina performansı, Güneş ışınımı, Doğal aydınlatma, Bina yükleri

ABSTRACT

Sun effects the total loads of buildings by not only reducing the heating loads due to the passive heating capacity of the solar radiation but also reducing the lighting loads by the natural lighting impact of daylight. Therefore, in order to minimize the total loads of buildings, solar radiation gain and daylight availability should be optimized by taking the right decisions on the environmental conditions during the design process. In particular, the urban geometry, defined by the heights of the neighboring buildings (H) and the distance between them (W), has an effect on the performance of buildings as a passive system and energy depending on the shadow depth. For this purpose, H/W ratios should be set at appropriate values to allow the buildings to benefit from optimum amounts of solar radiation and sunlight to analyze the effect of the settlement structures on the buildings. In this study, the effect of urban geometry on building performance in relation to developing scenarios with different H/W ratios over an existing building block in Kurtuluş, and the results obtained from each scenario are compared based on building loads and daylight availability.

Key words: Urban geometry, Passive building performance, Solar radiation, Natural lighting, Building loads

[a] e-posta adresi: erdemiri@itu.edu.tr
[b] e-posta adresi: kgul@itu.edu.tr

1.GİRİŞ

Günümüzde giderek artan yapma çevre gereksinimine bağlı olarak insanların yaptığı olumsuz müdahaleler sonucunda doğal çevre dönüşü olmayacak şekilde zarar görmekte ve ortaya çıkan çevresel sorunlar artmaktadır. Gelecekte bu sorunların yol açacağı afet senaryolarının önüne geçebilmek için, çevresel sorunlara çözüm getirecek çalışmaların yapılmasının önemi açıktır. Özellikle, fosil enerji kaynaklarının tükenmesi ve yüksek CO_2 salımı nedeniyle ortaya çıkan küresel ısınma sorunu, enerji korunumuna ilişkin çalışmaları ön plana çıkarmaktadır. Bu bağlamda inşaat sektörü ele alınacak olursa, konut binalarının yaşam döngüleri boyunca dünyadaki toplam enerji kaynaklarının yaklaşık %40'ını tükettiği görülmektedir. Enerji tüketimi oldukça yüksek olan inşaat sektöründe enerji tüketimini azaltacak değişiklikler yapmak sağlıklı bir gelecek için öncelikli bir konudur. Bu yolda atılması gereken ilk adım ise çevre ile uyumlu enerji etkin konutların tasarımını yaygınlaştırmak olacaktır.

Enerji etkin konutlar, kullanıcılar için gerekli olan konfor koşullarını en düşük enerji harcamaları ile sağlamaktadır. Enerji etkin konut tasarımında öncelikli hedef binaların pasif sistem olarak tanımlanmasında etkili olan yerleşme dokusu, yönlenme, bina aralıkları, bina formu ve bina kabuğu gibi tasarım parametreleri için çevresel koşullara uyumlu olacak en uygun değerlerin belirlenmesidir. Bu sayede binalar, konfor koşullarını mümkün olduğunca pasif sistemlerle sağlayarak enerji harcamalarını minimize edeceklerdir. Pasif sistemlerin konfor koşullarını sağlamada yetersiz kaldığı durumlarda ise çevreye zarar vermeyen sürdürülebilir enerji kaynaklarından yararlanan aktif sistemler binaya entegre edilmelidir. Bu hedefler doğrultusunda tasarlanacak enerji etkin binalar, düşük çevresel etkileri ile enerji ihtiyacı bakımdan kendi kendilerine yetebilen sistemler olarak sürdürülebilir çözümler sunacaklardır.

Enerji etkin bina tasarımda yenilenebilir bir kaynak olarak güneş enerjisinden yararlanma önemli bir kriter olarak tasarımda ön plana çıkmaktadır. Binalarda güneş ışınımı ile pasif olarak ısıtılan mekanların ihtiyaç duyacağı ısıtma yükleri azalırken; alınan gün ışığı ile sağlanan doğal aydınlatma yoluyla aydınlatma yükleri azalmaktadır **[1].** Ancak yaz döneminde fazla güneş ışınımının neden olacağı aşırı ısınma ile soğutma yüklerinin artmasının önlenmesi ayrıca kontrolsüz alınabilecek gün ışığı nedeniyle ortaya çıkabilecek kamaşma problemlerinin önlenmesi nedenleriyle binalarda güneş enerjisinden yararlanmada optimizasyon çalışmaları gerekli olmaktadır. Özellikle yerleşme dokuları içinde yer alan binaların birbirlerine göre konumları, güneş ışınımından yararlanmada birbirlerine engel olabilmeleri nedeniyle önem taşımaktadır **[2].** Yerleşme dokularını oluşturan komşu binaların yükseklikleri ve aralarındaki mesafe ile tanımlanan kentsel geometri, gölge derinliklerine bağlı olarak binaların pasif performansları ve enerji harcamaları üzerinde etkili olmaktadır. Bu amaçla, bina yüksekliklerinin (H) binalar arasındaki mesafeye (W) oranı olarak tanımlanan kentsel geometri-bina etkileşimi, binaların yeterli miktarda güneşten yararlanmalarına olanak verecek şekilde uygun değerlerde belirlenmelidir. Başka bir deyişle, uzun yıllar boyunca değişmeyen ve binaların performanslarını önemli ölçüde etkileyen yerleşme dokuları; çevresel verilere uygun olarak binaların yeterli güneş ışınımı almalarını sağlayacak kentsel geometriye dayanarak tasarlanmalıdır **[3].** Bu çalışmada ise aynı yerleşme dokusunda farklı H/W oranlarıyla tanımlanan kentsel geometrinin bina performansı üzerindeki etkileri ısıtma, soğutma ve aydınlatma yükleri üzerinden İstanbul Kurtuluş'ta belirlenen bir yapı adasında enerji simülasyon programları aracılığıyla analiz edilerek, elde edilen sonuçların güneş enerjisinden yararlanmalarına bağlı değişimleri analiz edilmiştir.

2. KAPSAM

İstanbul 1900'lu yılların ikinci yarısında aldığı göçler nedeniyle hızla büyümüş ve şehir planı kontrolsüz olarak gelişmiştir. Özellikle şehir merkezinde kentsel dönüşüm süreçlerinde yenilenen binaların yükseklikleri, yoğunlaşan nüfusa çözüm olabilmek için sokak genişliklerine bağlı olarak oluşacak gölge derinliklerine bakılmaksızın arttırılmış ve güneş enerjisinden yararlanmada oldukça kısıtlı konut binaları ortaya çıkmıştır. Bugünkü mevcut durumda, özellikle güneş enerjisinden yararlanmada yetersiz olan alt katlardaki dairelerde yüksek enerji harcamalarının yanı sıra kullanıcıların psikolojik ve fiziksel sağlığını olumsuz yönde etkileyen iç mekan koşulları görülmektedir. Bu duruma çözüm üretmek için ılımlı-nemli iklim bölgesinde yer alan İstanbul'un ısıtma, soğutma ve aydınlatma yükleri açısından güneş enerjisinden yararlanmayı optimize edecek ve mevcut gölge derinliklerine bağlı olarak uygun H/W oranlarına sahip kentsel doku önerileri geliştirilmelidir.

Farklı H/W oranlarının etkisini İstanbul örneğinde bir kent dokusu içinde analiz edebilmek için karakteristik grid yerleşim modeli ve 19'uncu yüzyılın sonundan 70'li yıllara kadar farklı dönem karakteristiklerine sahip apartman bloklarıyla çevrilmiş dar sokakları ile İstanbul'un eski semtlerinden biri olan Kurtuluş çalışma alanı olarak belirlenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1: Kurtuluş Semti'nde aynı yapı adalarında yer alan farklı dönemlerde inşa edilmiş apartman blokları.

Çalışmada mevcut dokudaki sokak genişliği ile sokak genişliklerinin farklı olması senaryoları için gölge derinliklerine bağlı olarak binaların enerji performanslarındaki değişiklikleri irdelemek amaçlanmıştır. Bu amaçla bölgede yer alan Bay Sungur Sokak ve Bilezikçi Sokaklar seçilerek, bu sokaklar arasında kalan yapı adasında yer alan binalar değerlendirilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2: Çalışmada analiz edilmek üzere seçilen yapı adası.

3. YÖNTEM

Bu çalışmada, İstanbul Kurtuluş'ta seçilen alanda yapılan analizler sonucu elde edilen verilere dayanarak parametrik bir yerleşme dokusu tanımlanmış ve bu dokuda güneşten yararlanma miktarlarının bina performansları üzerindeki etkisini irdelemek için farklı sokak genişliklerine sahip H/W alternatifleri ile senaryolar kurgulanarak referans bir bina için ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi performansları simülasyon programları aracılığıyla kıyaslanmıştır.

Öncelikle çalışmada sokak genişliklerinin etkisini analiz etmek amacıyla önerilecek modelin parametrik hale getirilmesi için Kurtuluş'ta seçilen, Bay Sungur Sokak ve Bilezikçi Sokak arasında kalan yapı adası, detaylı olarak analiz edilerek bazı kabuller yapılmış ve çalışmada kullanılacak mevcut yerleşme dokusu senaryosuna (S0) ait tasarım parametreleri aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

- Mevcut sokak aralığı ortalaması 8.2 m olarak belirlenmiştir. Binaların arka cepheleri arasında yer alan avlu değerlendirmeye alınmamış, bina performanslarında farklı sokak genişliklerine bağlı olarak 2 cepheden alınacak güneş ışınımı ve gün ışığı etkilerinin daha etkin olarak değerlendirilebilmesi için, yapı adasının tek sıra evlerden oluştuğu varsayılmıştır.
- Yapı adasını oluşturan binalar 18 m yüksekliğinde, 4 katlı ve kırma çatılı olarak her kat ayrı bir modül olacak şekilde tasarlanmış ve dikdörtgen taban alanlı (sokak cephesi 7.5 m, bina derinliği 18,8 m) olarak kabul edilmişlerdir. Cephelerinin saydamlık oranlarının mevcut binalardan elde edilen cephe görünüşleri üzerinden yapılan belirlemeler doğrultusunda ortalama %40 olduğu ve pencerelerin çift camlı olduğu varsayılmıştır.
- Bina kabuğuna ait yapı elemanları kesitleri TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları'nda verilen limit değerlere uygun olarak geliştirilmiştir Yerleşme dokusu alternatiflerinde referans alınan binaya ait dış duvarın U-değeri 0,57 W/m^2K, çatının U-değeri 0,38 W/m^2K ve zemine oturan döşemenin U-değeri 0,57 W/m^2K olarak alınmıştır.

- Binanın ısıtma dönemi için istenen iç mekan sıcaklığı 21˚C, soğutma dönemi için ise 26˚C olarak belirlenmiştir. Aydınlatma sistemi için hedeflenen aydınlık düzeyi 150 lux olarak tanımlanmış ve günışığı etkisini analiz edebilmek için 3 kademeli kontrole sahip yapma aydınlatma sistemi kullanılmıştır **[4].**

Bu çalışmanın temel amacı kentsel geometrinin, dolayısıyla sokak genişlikleri ve bina yüksekliklerine bağlı olarak binaların güneşten yararlanma etkisini analiz etmek olduğu için mevcut yerleşme dokusunda belirlenen bina yükseklikleri sabit tutulmuş, sokak genişlikleri değiştirilerek alternatif yerleşme dokusu senaryoları üretilmiştir. Senaryolarda kullanılan sokak genişlikleri ise İstanbul için ısıtma istenen döneme ait dizayn günü olarak belirlenen 21 Ocak gününe ait gölge boyları hesaplanarak belirlenmiştir. Çizelge 1'de saat 10:00-16:00 saatleri arası için güneydoğu-kuzeybatı yönünde gölge boyları hesaplanmış ve yerleşme dokusunda 18 m kabul edilen bina yüksekliğine göre binalar birbirlerine güneş alma açısından engel olmayacak şekilde uygun olan sokak genişlikleri belirlenmiştir. Ancak İstanbul'da arazinin değeri de göz önünde bulundurulduğunda güneşlenme ve konfor koşullarından ödün vermeyen maksimum bina yoğunluğunun sağlanması gerekli olmaktadır. Bu açıdan çalışmada sokak genişliklerinin uygulanabilir sınırlar içinde kalması amacıyla saat 12:00-14:00 arası hesaplanan gölge boyları dikkate alınarak belirlenen sokak genişlikleri alternatiflerde uygulanmak üzere seçilmiştir.

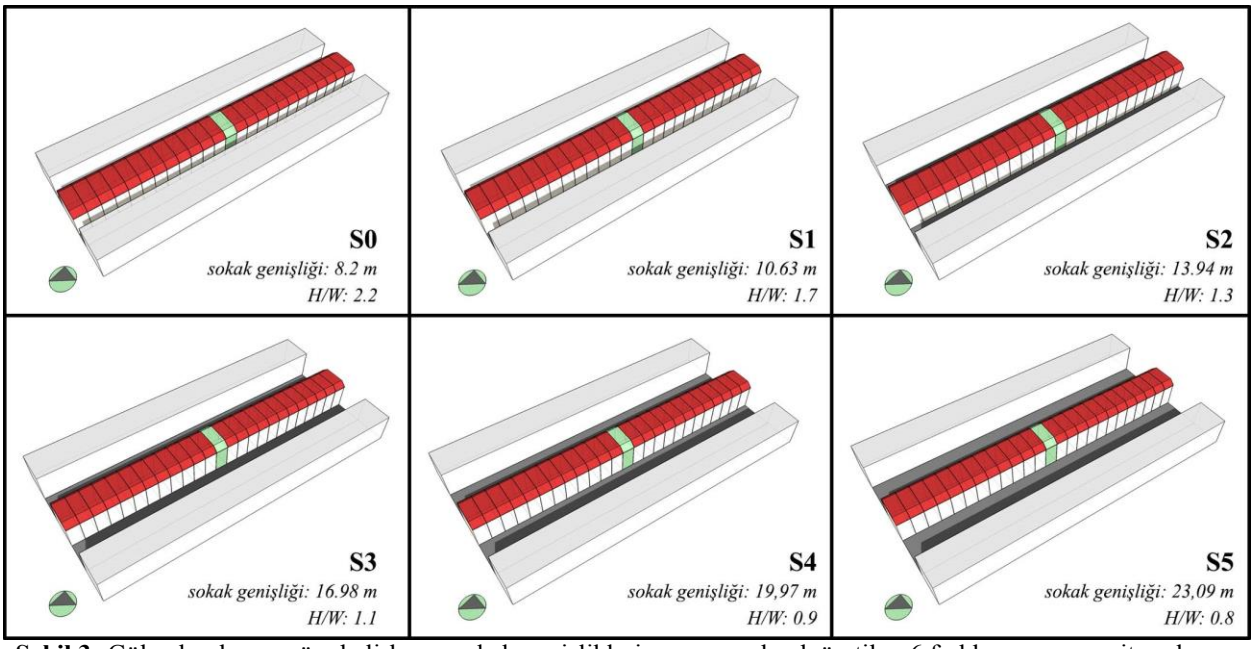
Çizelge 1: 21 Aralık günü İstanbul için seçilen yapı adası yönlenmesine göre güneydoğu-kuzeybatı yönünde hesaplanan gölge boyları ve seçilen saatlere göre geliştirilen senaryolara ait H/W oranları.

Saat	Tarih	Güneydoğu Yönünde Gölge Boyu		Kuzeybatı Yönünde Gölge Boyu		Sokak Genişliği H=18	m	H/W	Senaryo
10.00	21 ocak	2,30	H	-2,30	H	41,45	m		
10.30	21 ocak	1,96	H	-1,96	H	35,27	m		
11.00	21 ocak	1,69	H	-1,69	H	30,47	m		
11.30	21 ocak	1,47	H	-1,47	H	26,52	m		
12.00	21 ocak	1,28	H	-1,28	H	**23,09**	**m**	**0,8**	**S5**
12.30	21 ocak	1,11	H	-1,11	H	**19,97**	**m**	**0,9**	**S4**
13.00	21 ocak	0,94	H	-0,94	H	**16,98**	**m**	**1,1**	**S3**
13.30	21 ocak	0,77	H	-0,77	H	**13,94**	**m**	**1,3**	**S2**
14.00	21 ocak	0,59	H	-0,59	H	**10,63**	**m**	**1,7**	**S1**
14.30	21 ocak	0,37	H	-0,37	H	6,70	m		
15.00	21 ocak	0,08	H	-0,08	H	1,46	m		
15.30	21 ocak	-0,38	H	0,38	H	6,82	m		
16.00	21 ocak	-1,35	H	1,35	H	24,31	m		

Şekil 3'te gölge boylarına göre belirlenen sokak genişliklerine uygun olarak üretilen yerleşme dokusu alternatifleri modellenmiş ve değişen H/W oranlarının bina enerji performansları üzerindeki etkisini kıyaslayabilmek için her bir senaryo için hesaplamaların yapıldığı referans binalar gösterilmiştir. Geliştirilen senaryolar için yapılan hesaplamalar iki aşamada gerçekleştirilmiştir:

1. Geliştirilen her bir yerleşme dokusu senaryosu için (farklı H/W oranları için) o yerleşme dokusu için belirlenen referans binanın güneş ışınımı kazancı değerleri ile ısıtma, soğutma, aydınlatma enerjisi yükleri Energy Plus altyapısına sahip Design Builder enerji simülasyonu programı kullanılarak hesaplanmıştır.

2. Seçilen referans binanın senaryolardaki farklı sokak genişliklerinin bina içindeki aydınlık düzeyi dağılımına etkisini irdelemek için Dialux Evo aydınlatma simülasyonu programı kullanılmıştır. Bu programda; 21 Ocak için kapalı ve ortalama gök modeli, 21 Temmuz için açık gök modeli kullanılarak, 2 yönde konumlanan 5 m derinliğe sahip hacimler için aydınlık düzeyi dağılımları hesaplanmıştır.



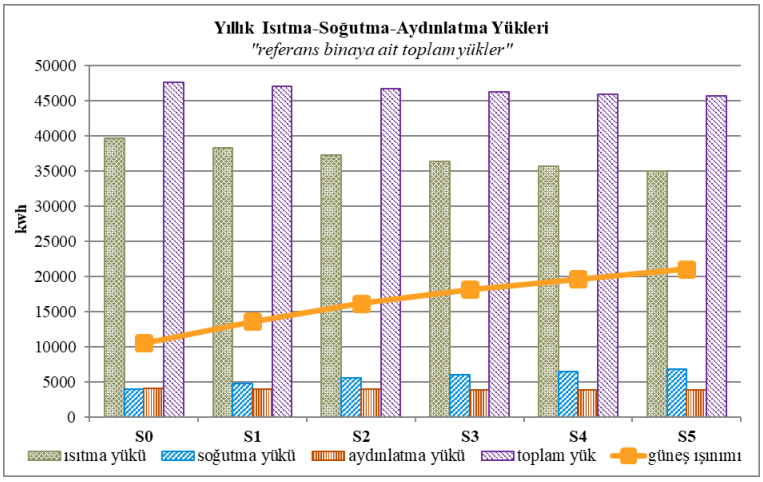
Şekil 3: Gölge boylarına göre belirlenen sokak genişliklerine uygun olarak üretilen 6 farklı senaryoya ait yerleşme dokusu alternatiflerinin modelleri.

4. HESAPLAMA SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Bu aşamada geliştirilen her bir yerleşme dokusu senaryosu için o yerleşme dokusu için belirlenen referans bina için ilk aşamada belirlenen binanın güneş ışınımı kazancı, ısıtma, soğutma, aydınlatma enerjisi yükleri ve ikinci aşamada binada belirlenen hacim için aydınlık düzeyi değişimleri karşılaştırılmıştır.

Şekil 4'te 6 farklı senaryo için verilen sonuçlara göre sokak genişliği arttıkça ya da başka bir deyişle yerleşme dokusunun H/W oranı küçüldükçe güneş ışınımı kazancının arttığı görünmektedir. Sokak genişlikleri 8.2 m olan mevcut durumun modellendiği S0 senaryosunda referans binanın toplam yıllık güneş ışınımı kazancı 10501,92 kWh olarak hesaplanırken; sokak genişliklerinin 23,09 m'ye çıkarılması ile S5 senaryosundan elde edilen güneş ışınımı kazancı 21047,91 kWh'e yükselerek %100,42'lik bir artış göstermektedir. Sokak genişliklerinin artması ile güneş ışınımı değerlerinde sağlanan artış, ısıtma yüklerinin azalmasına, soğutma yüklerinin ise artmasına neden olmuştur. S0 ve S5 senaryoları arasında oluşan farklar ele alındığında, ısıtma yüklerinin 39622,94 kWh'ten 35008,11 kWh'e düşerek %11,65 azaldığı; soğutma yüklerinin ise 3909,16 kWh'ten 6828,18 Kwh'e yükselerek %74,67 arttığı görülmektedir. İstanbul ılımlı-nemli iklim bölgesinde yer aldığı için ısıtma yükleri soğutma yüklerine kıyasla çok daha yüksek çıkarak binaların toplam yükleri üzerinde daha etkili olmaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada elde edilen

sonuçlar da daha önceki benzer çalışmalara paralellik göstermektedir. Sonuçlarda görülen değişimler oransal olarak karşılaştırıldığında sokak genişliklerinin artması soğutma yüklerinde daha belirgin farklar ortaya çıkarmıştır. Ancak, sayısal olarak ısıtma yükünün soğutma yüküne göre oldukça yüksek olması nedeniyle binaların toplam yükleri de ısıtma yüküne bağlı olarak azalmıştır. Başka bir deyişle, S0 ve S5 senaryoları kıyaslandığında ısıtma yükünde görülen fark 4614,83 kWh iken soğutma yükünde 2919,02 kWh olarak görülmüş ve sonuçta S5 alternatifinin toplam yükü 1695,81 kWh daha düşük çıkmıştır. Aydınlatma yüklerine bakıldığında ise sokak genişliklerinin artması doğal aydınlatma açısından olumlu bir etki sağlamış ve dolayısıyla en düşük aydınlatma yükü en geniş sokak aralıklarına sahip S5 alternatifinden elde edilmiştir. Ancak konut binalarında işleve bağlı gündüz saatlerinde yapma aydınlatmaya çok ihtiyaç duyulmaması sebebiyle senaryolar arasında ortaya çıkan farklar ısıtma ve soğutma yüklerine nazaran daha düşüktür.

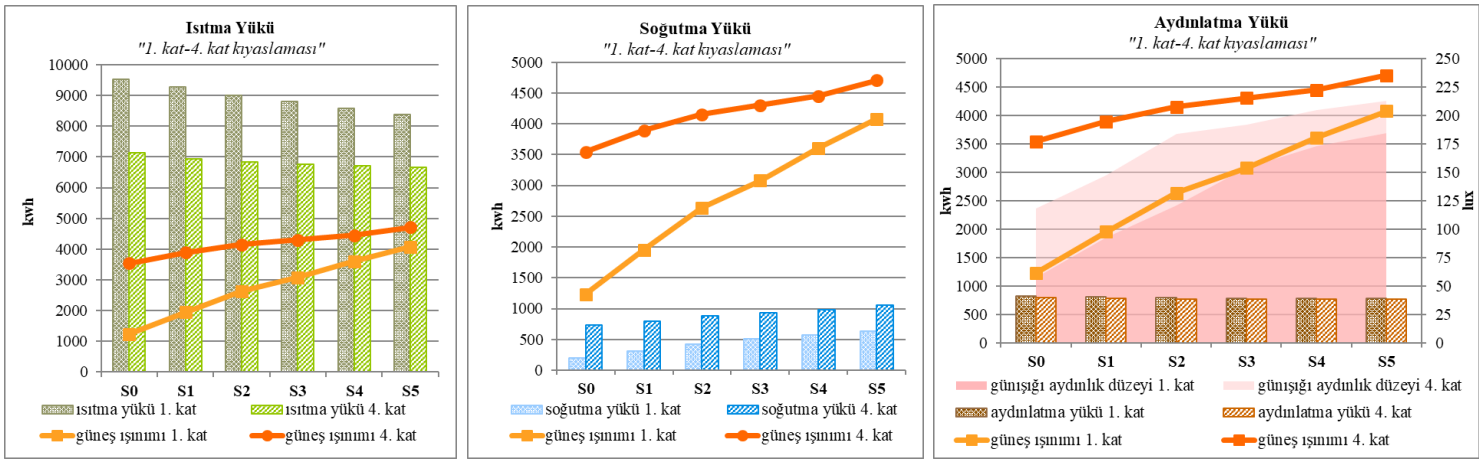


Şekil 4: Üretilen 6 senaryo için yıllık güneş ışınımı kazancına bağlı olarak değişim gösteren yıllık ısıtma, soğutma, aydınlatma yükleri ve toplam yükler.

Sokak genişliklerine bağlı olarak binaların güneşten yararlanma durumlarına göre binaların toplam yüklerindeki değişim ortaya konulmuştur. Ancak bina yüksekliğine bağlı olarak binadaki her katın güneşten ısı kazancı değerlerinin değişeceği açıktır **[1].** Bina performansı kat bazında analiz edildiğinde yerleşme dokusuna bağlı olarak alt katlar ile üst katların aldığı güneş ışınımında büyük farklar ortaya çıkmakta ve bu durum farklı katlar için elde edilen enerji yüklerine oldukça belirgin olarak yansımaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada, referans binanın 1. ve 4. katında yer alan daireler için, farklı senaryolarda güneş ışınımı kazançlarına bağlı olarak gösterdikleri performans karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Şekil 5'te 6 farklı senaryo için verilen sonuçlara bakıldığında, 1. katın 4. kata göre çok daha az güneş ışınımı aldığı ve bu farkın sokak genişlikleri arttıkça oluşan yerleşme alt katlara daha fazla güneş ışınımı sağlayabilmesi sayesinde azaldığı görülmektedir. S0 alternatifinde güneş ışınımı kazançlarında 1. kat ve 4. kat arasında görülen fark %187,38 iken, bu fark S5 alternatifinde sokak genişliklerinin 23,5 m'ye çıkması ile %15,41'e düşmektedir. Bu farklar güneş ışınımı kazancı sayesinde ısıtma yüklerine de yansımaktadır. S0 alternatifinde 1. katın ısıtma yükü, 4. katın ısıtma yükünden %33,38 fazlayken, bu fark S5 alternatifinde %26,10'a inmektedir. Soğutma yükü için ise tam tersi bir değişim olduğu gözlenmektedir. S0 alternatifinde 1. kattan elde edilen

soğutma yükü 4. kata göre %72,67 daha düşük iken, bu fark S5'te %40,61'e düşmektedir. Aydınlatma yükleri ele alındığında ise günışığı ile sağlanan ortalama aydınlık düzeyleri üzerinde de değişimler gözlenmiştir. Güneş ışınımı kazancı sonuçlarına benzer şekilde, elde edilen gün ışığı aydınlık düzeylerine bakıldığında S0 alternatifinde katlar arasında görülen fark %51,53 iken, S5'te %15,27'ye düşmektedir. Bütün sonuçlar ele alındığında sokak genişliği arttıkça alt kat ve üst kat arasındaki güneş ışınımı ve gün ışığı kazancı farklarının azaldığı görülmektedir. Buna bağlı olarak aynı bina içinde farklı katlarda yer alan hacimlerin enerji performansları arasındaki fark sokak genişliği azaldıkça artmakta ve alt katlarda yer alan hacimler için üst katlardaki hacimlerle ile aynı konfor koşullarını sağlamak için gerekli olan toplam enerji yükü miktarı artmaktadır.

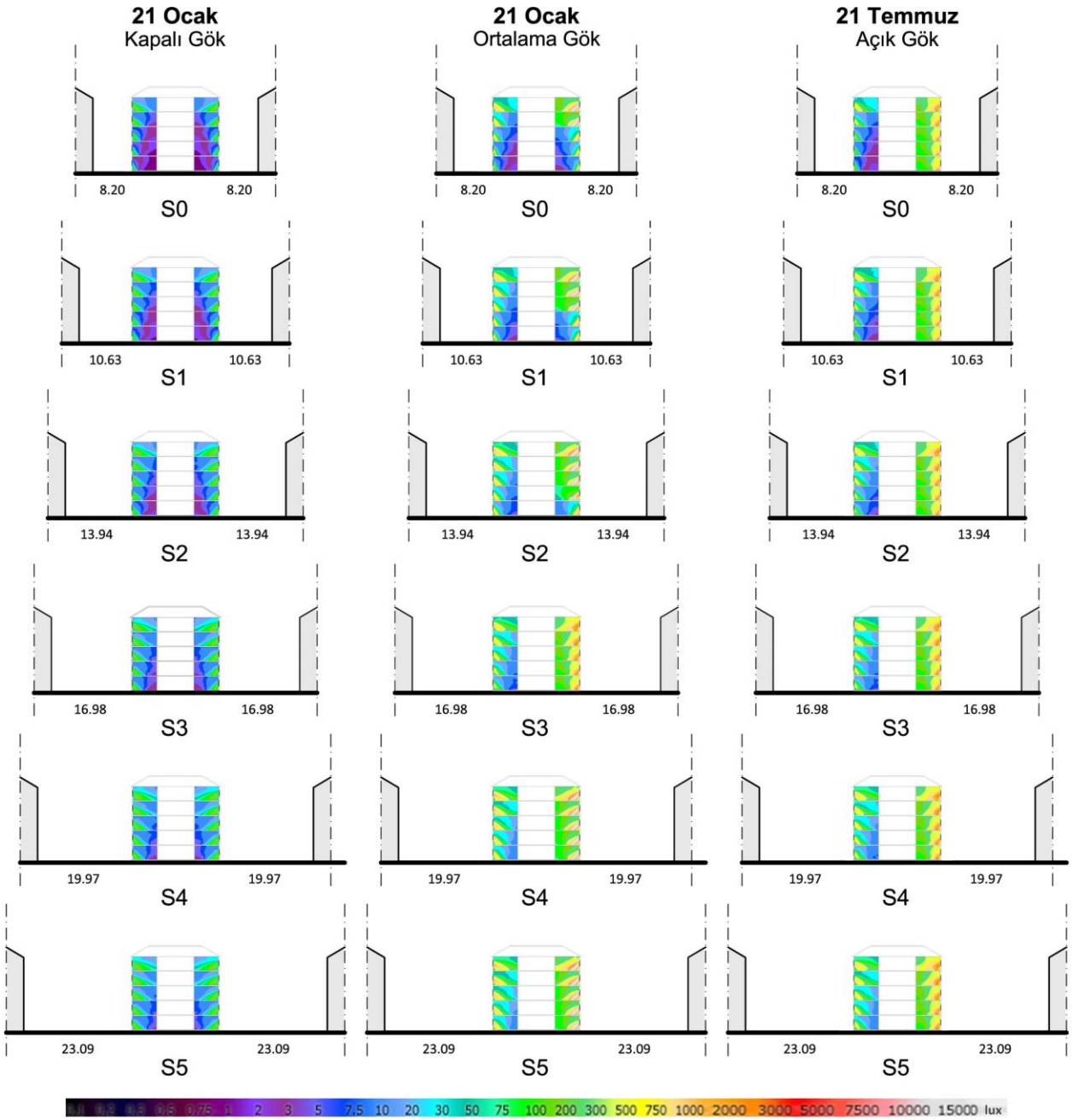


Şekil 5: Üretilen 6 senaryo için 1. kat ve 4. kata ait ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerinin güneş ışınımı ve günışığı kazançlarına bağlı olarak değişimi.

Çalışmanın ikinci aşamasında farklı yerleşme dokularına bağlı olarak referans bina kesitinde sağlanan aydınlık düzeyi değerleri değerlendirilmiştir. Bunun için binanın 2 yönde cephelerden 5 m uzakta bölücü duvarlar olduğu varsayılarak oluşturulan hacimler için günışığı değerlerinin farklı gök koşulları için değerlendirilebilmesi için kış dönemi dizayn günü olarak belirlenen 21 Ocak gününde kapalı ve ortalama gök modeli, yaz dönemi dizayn günü olarak belirlenen 21 Temmuz gününde açık gök modeli kullanılarak saat 12:00 için aydınlık düzeyleri hesaplanmıştır.

Şekil 6'da, seçilen 2 farklı gün ve 3 farklı gök modeli kombinasyonu için yapılan günışığı simülasyonları sonuçları, 6 senaryoda yer alan bina kesitlerinde güneybatı ve kuzeydoğuya bakan 2 farklı yaşama hacmi için verilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, sokakların genişlemesine bağlı olarak alt katların aldığı günışığı miktarının arttığı görülmektedir. Ayrıca güneybatı yönüne bakan hacimlerde görülen ortalama aydınlık seviyelerinin daha yüksek olması; günışığının bu yönden daha etkin alındığı ve bu hacimlerde doğal aydınlatma ile yaşama hacimlerinde 150 lux olarak kabul edilen gerekli aydınlık düzeyinin daha fazla alternatifte sağlandığı görülmektedir. 3 farklı gök modeli ele alındığında ise, istenen aydınlık düzeyinin doğal aydınlatma ile 21 Ocak kapalı gök modeli simülasyonlarında sadece S4 ve S5'te üst katlarda; 21 Ocak ortalama gök S3, S4 ve S5 alternatiflerinde sağlanabildiği görülmektedir **[4].** 21 Temmuz açık gök modelinde ise güneybatıya bakan modüllerin hepsinde doğal aydınlatma ile istenen aydınlık düzeylerine erişildiği, kuzeydoğu yönünde ise sokak aralıkları arttıkça alt katlarda da doğal aydınlatma

etkinliğinin arttığı görülmektedir. Sokak genişlikleri ve yöne bağlı olarak alınan günışığı miktarlarının değişim göstermesi, doğal aydınlatma düzeylerini oldukça etkilemektedir. Özellikle alt katlar dar sokak aralıklarına sahip senaryolarda komşu binaların engel oluşturması nedeniyle, günışığından yeteri kadar yararlanamamaktadırlar. Bu sonuçlara göre yerleşme dokusu tasarımlarında komşu binaların gerek ısıtma enerjisi açısından yaratacağı gölge etkisi gerekse aydınlatma açısından engel etkisinin özellikle alt katlarda yer alan hacimlerin performansı açısından önemli olduğu ve bina kesitlerinde kat bazında analizlerin yapılmasının gerekli olduğu görülmüştür.



Şekil 6: 6 farklı senaryo için 21 Ocak ve 21 Temmuz günü yapılan aydınlatma simülasyonları ile farklı gök modellerinden elde edilen günışığı ile sağlanan aydınlık düzeyi sonuçları.

5. SONUÇLAR

Yerleşme dokuları, bina yükseklikleri ve sokak genişlikleri ile oluşturduğu geometriye bağlı olarak binaların güneş ışınımı ve günışığı kazancını etkilemektedirler. H/W oranları doğru şekilde analiz edilmeden tasarlanan yerleşme dokularında binaların gölge derinliklerine bağlı olarak sokak aralıklarının dar olması güneş enerjisinden kısıtlı yararlanmaya bağlı olarak komşu binaların ısıtma ve aydınlatma yüklerini arttırırken, istenenden geniş olması soğutma yüklerini arttıracaktır. Bu nedenle uzun yıllar binaların enerji performansı üzerinde etkili olacak yerleşme dokuları tasarlanırken, çevresel koşullar dikkate alınarak binaların güneş enerjisinden optimum düzeyde yararlanabilmelerini sağlayacak kentsel geometri oluşturularak enerji harcamalarının minimize edilmesi hedeflenmelidir.

Bu çalışmada, Kurtuluş semtinde seçilen bir yapı adası için sokak genişliklerinin bina enerji performansları üzerindeki etkisi gölge boyları baz alınarak belirlenen H/W oranlarına sahip senaryolardan elde edilen farklı güneş ışınımı ve günışığı miktarlarına bağlı olarak değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre, sokak aralıkları genişledikçe güneş ışınımı ve gün ışığı kazancının artmasına bağlı olarak binaların toplam yüklerinin azaldığı tespit edilmiştir. Ilımlı-nemli bölgede yer alan İstanbul için ısıtma yüklerinin soğutma yüklerine göre daha yüksek ve güneş ışınımını kazancının toplam yükler üzerinde daha etkili olması nedeniyle; güneş ışınımını arttıracak yerleşme dokusu tasarımlarının toplam bina yüklerini azaltması açısından önemi açıktır. Ayrıca, sokak aralıklarının genişlemesi günışığı kazançlarını arttırarak aydınlatma yüklerini de düşürmüştür. Özellikle dar sokak aralıklarına sahip senaryolarda neredeyse hiç günışığı alamayan alt katlarda yer alan hacimlerde, genişleyen sokak aralıkları sayesinde istenen aydınlık düzeyinin doğal aydınlatma ile sağlanabildiği görülmüştür.

Sonuç olarak, yerleşme dokuları sundukları kentsel geometri ile binaların güneş ışınımı kazancı ve günışığı etkilerini önemli ölçüde değiştirmekte ve bina enerji performansları üzerinde etkili olmaktadır. Dolasıyla, binaların uzun dönemde pasif sistem olarak performanslarını ve enerji etkinliklerini arttırmak için iklim koşullarına uygun kentsel geometrinin oluşturularak, bu koşulları binalar için optimize edecek yerleşme dokusu tasarımlarının yapılması hızlı bir kentsel dönüşüm sürecine girmiş ülkemizde; enerji sorunlarının çözümü ve ülke ekonomisi açasından son derece önemli ve gereklidir.

KAYNAKLAR

1. J. Strømann-Andersen, P.A. Sattrup, "The urban canyon and building energy use: Urban density versus daylight and passive solar gains", *Energy and Buildings* **43**(2011), pp: 2011–2020.

2. M.M.E. van Escha, R.H.J. Loomana, G.J. de Bruin-Hordijka, "The effects of urban and building design parameters on solar access to the urban canyon and the potential for direct passive solar heating strategies", *Energy and Buildings,* **47**(2012), pp 189-200.

3. C. Rattia, N. Baker, K. Steemers, "Energy consumption and urban texture", *Energy and Buildings,* **37**(2005), pp. 762–776.

4. M. S. Rea, *The IESNA Lighting Handbook: Reference & Application (10th ed.),* Illuminating Engineering Society of North America, New York, 2000.

3.Ulusal
Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi

10-11 Mayıs 2018
İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul

ÇATI VE CEPHELERDE UYGULANAN GÜNEŞ PANELLERİNDEN ÜRETİLEN ENERJİNİN KENTSEL DOKU VE BİNA TİPOLOJİSİ BAĞLAMINDA İNCELENMESİ

Y. Mimar Halit Beyaztaş[a]
MSGSÜ Mimarlık Fakültesi
Fındıklı, İstanbul, 34427
Prof. Dr. Gül Koçlar Oral[b]
İTÜ Mimarlık Fakültesi
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

ÖZET

Yaklaşık sıfır enerjili binalar olgusu bağlamında binalar sadece enerji tüketen sistemler olmaktan çıkıp, tükettiği enerjiyi üretebilen bir sistemler bütününe doğru evrilmektedir. Kent dokusu içerisinde binalarda enerji üretimi güneş panelleri ile etkin bir şekilde sağlanabilmektedir. Yaklaşık sıfır enerji hedefine ulaşmak için çatılardan yeteri kadar enerji üretilememesi durumunda, cephelerin enerji üretim potansiyelinin de değerlendirilmesi önem kazanmaktadır. Kent dokusu ve sokak yönlenmesi cepheler üzerinden güneş enerjisi üretimi açısından çok önem arz etmektedir. Bu çalışma kapsamında, İstanbul ili Kadıköy ilçesi sokak dokusuna ve sokak yönlenmesine bağlı olarak cephelerin güneş enerjisi üretim potansiyeli simülasyon yöntemi ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Kentsel dönüşümün hızla devam ettiği ve kentin geleceğinin hızla şekillendiği günümüzde, kent dokusunun bina enerji üretim performansı üzerine olan etkisinin detaylı bir şekilde irdelenmesi geleceğin sürdürülebilir kent planlaması için önemlidir. Bu açıdan, bu çalışmanın sonuçları tasarımcılar ve uygulayıcıların yanı sıra kent plancıları ve kanun yapıcılar için de karar alma sürecinde önemli bir tasarım girdisi olacaktır.

Anahtar sözcükler: Kent Dokusu, Bina Tipolojisi, Enerji Üretimi, Güneş Paneli, Cephe Tasarımı

ABSTRACT

Near zero energy building is a considerably new concept. It proposes behavioral change in building energy consumption from conventional role of purely energy consuming one to an energy producing one. PV panel is the convenient way of energy production in urban texture. However, producing energy via rooftop PV panels is not enough to achieve near zero energy target. This makes building facades more important for energy production. Urban texture affects energy production potential of building facades in dense urban environment. In this study, the influence of urban texture of Kadıkoy-Istanbul on building facade energy potential will be studied. The urban renewal progress have been changing the urban texture of Istanbul. Understanding the influence of urban texture on facade energy production will be an important input for architects, planner, and policy maker in decision making process.

Key words: Urban Texture, Building Typology, Energy Production, Solar Panel, Façade Design

[a] e-posta adresi: beyaztashalit@gmail.com
[b] e-posta adresi: kgul@itu.edu.tr

1.GİRİŞ

Günümüzde aktif sistemlerin işletilmesinde çoğunlukla temel enerji kaynağı olarak fosil yakıtlar ve yenilenemeyen diğer enerji kaynakları kullanılmaktadır. Tüketilen bu kaynak türlerinin küresel ısınmaya neden olmasının yanında, yapılan hesaplamalara göre bu kaynakların yakın gelecekte tükenme riski ile karşı karşıya olunması ülkelerin gündeminde önemli bir problem olarak yer almaktadır. Ayrıca toplam enerji tüketiminin yaklaşık üçte birinin binalarda tüketilmesi nedeniyle binalardaki enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik birçok araştırma yapılmıştır [1]. "Net-sıfır enerjili bina", "Sıfır enerjili bina" ve "Pozitif enerjili bina" gibi güncel kavramlar bu çalışmalar neticesinde ortaya çıkmıştır. Başka bir deyişle, binalara yeni bir kimlik tanımlanmaktadır ve artık binalarda sadece enerji tüketiminin azaltılması beklenmemekte, aynı zamanda binanın enerjiyi üretmesi de beklenmektedir. 2015 Paris İklim Değişimi Konferansı kararlarının uygulanabilmesi için her ülke kendi yol haritasını belirlemiştir. Bu kapsamda Türkiye'nin yol haritasında belirttiği maddelerden biri de enerji talebini en aza indirgemek, yerel enerji üretimini sağlamak ve yeşil bina, pasif enerjili bina ve sıfır enerji konut tasarımı fikirlerinin yaygınlaştırılmasıdır [2].

Yaklaşık-sıfır enerjili bina kavramı binaların sadece enerji tüketici kimliğinden enerji üretici kimliğine geçmesini değil, bunun bir adım ilerisi olan ihtiyaç duyduğu enerjinin tamamını üretebilmesini öngörmektedir. Ülkemizin yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş enerjisi açısından önemli bir potansiyele sahip olduğu göz önünde bulundurulduğunda binaların ihtiyaç duyduğu enerjinin güneşten sağlanması olanaklıdır. Bu hedefin gerçekleştirilmesi özellikle az yoğunluklu kırsal alanda ve müstakil konutlarda daha erişilebilir görülmektedir. Ancak, ülkemizde büyük kentlerde, kent dokuları genellikle çok katlı ve yüksek yoğunlukta yapılardan oluşmaktadır. Yaygın olarak konut yerleşmelerinde güneş enerjisi panellerinin çatılara yerleştirildiği düşünülecek olursa, konut birimi başına düşen güneşten enerji üretilebilir çatı alanı artan kentsel yoğunluğa bağlı olarak azalacağı için, metrekare başına enerji üretiminde bir düşüşe neden olacaktır [3]. Bu durum, cephelerin güneş panelleri vasıtasıyla enerji üretimi için önemini artırmaktadır. Bununla birlikte, kentsel yoğunluğun artmasıyla binaların birbirlerini gölgelemeye başlaması bina enerji tüketimini etkileyecektir [4]. Bu durum aynı zamanda kentsel yoğunluğun bina cephelerinin enerji üretim potansiyeli üzerinde olumsuz etki yapmasına neden olacaktır. Kentsel yoğunluğun yanında, bina tipolojisi de enerji üretim ve tüketim potansiyeli üzerinde etkili olabilecektir [5]. Mevcut çalışmalar çoğunlukla kentsel dokunun vaka analizleriyle bina enerji performansı üzerindeki etkisini incelemektedir [6]. Bununla birlikte, mevcut dokuların enerji tüketim ve üretim performansına dayanan bir optimizasyon çalışması enerji ektin ve sürdürülebilir kent planlaması için önemli bir ihtiyaçtır. Türkiye'de ve özellikle İstanbul'da yaşanan büyük kentsel yenilenme sürecinden dolayı hızla değişen bina stokunun ve kent dokusunun sürdürülebilir bir sisteme dönüştürülebilmesi için bu tür çalışmaların önemi açıktır.

2. METODOLOJİ

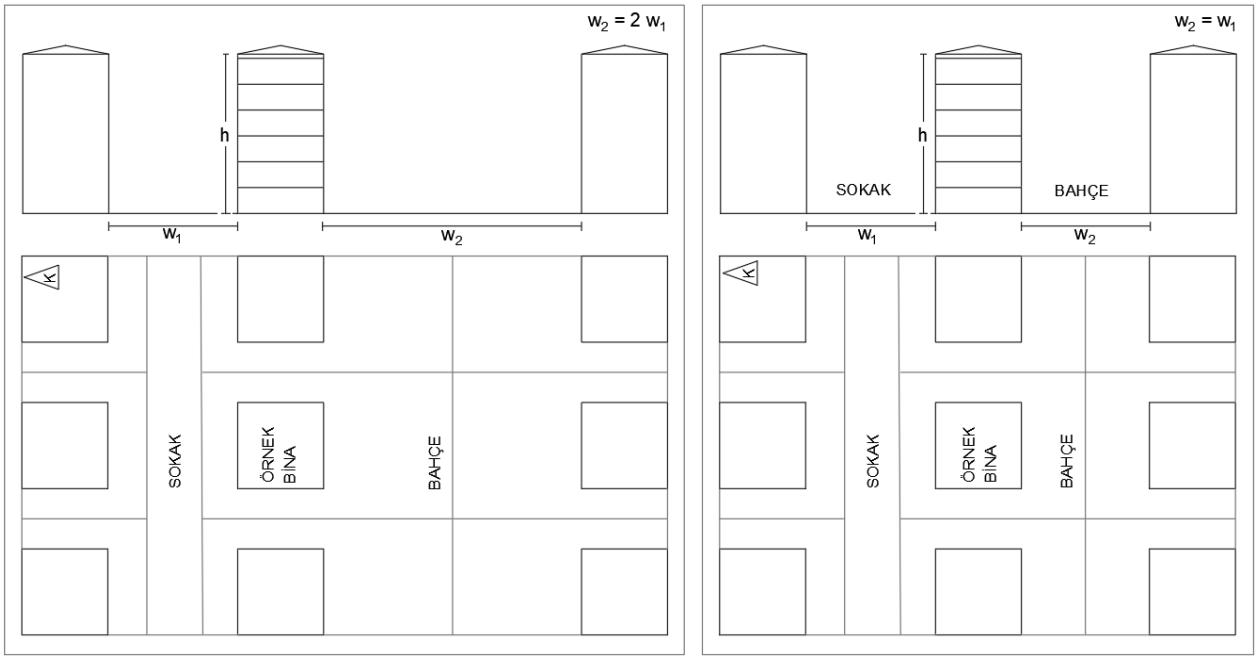
Bu çalışma kentsel dokunun binaların enerji üretim ve tüketim performansı üzerine olan etkisinin incelenmesini amaçlamaktadır. Çalışma alanı olarak yüksek kentsel yoğunluğa sahip olan ve hızlı kentsel dönüşümün yaşandığı İstanbul kenti seçilmiştir. Metodoloji olarak enerji simülasyonu yoluyla hesaplamaların yapıldığı bu çalışmada, çeşitli kentsel doku içindeki çok katlı konut tiplerinin enerji performansları değerlendirilmiştir. Bu araştırmada konutların

modellenmesi Sketchup programında yapılarak, enerji hesaplamaları için OpenStudio arayüz yazılımı ile EnergyPlus bina enerji simülasyon motoru kullanılmıştır. Çalışmanın adımları aşağıda açıklanmıştır.

2.1. Mevcut Kentsel Dokunun Saptanması

İstanbul'daki mevcut kentsel dokuyu tanımlayan detaylı bir çalışma bulunmasa da İstanbul Büyükşehir Belediyesi Planlama bölümü mevcut kentsel dokuyu genel olarak dört ana kategori altında sınıflandırmaktadır: tarihi doku, planlı doku, plansız doku ve toplu konut. Bu çalışmada "planlı" doku ele alınmıştır. Kadıköy belediyesi sınırları içerisindeki mevcut planlı kentsel dokuları tanımlamak için otuz farklı sokak örneğinin incelendiği çalışma bulgularına göre [7],

- Bina yükseklikleri (h) ve binalar arasındaki mesafeler (w) farklılık göstermektedir.
- Bina yüksekliği ile komşu binalar arasındaki mesafeler arasındaki ilişki tespit edilmiştir.
- Kat yükseklikleri değişiklik gösterse de altı katlı bina örnekleri eski dokunun yapı yüksekliğini temsil edebilmektedir.
- Üç farklı arka bahçe tipi tanımlanmaktadır. Arka bahçedeki komşu bina mesafeleri ile sokak bahçesi arasındaki bina mesafeleri arasında üç çeşit ilişki tanımlanmıştır w1 = w2 (küçük bahçeli), 1.5w1 = w2 (orta büyüklükte bahçe) ve 2w1 = w2 (büyük bahçeli) (Şekil-1).



Şekil 1. Büyük bahçeli doku örneği-solda (2w1 = w2) ve Küçük bahçeli doku örneği-sağda (w1 = w2).

Çizelge 1' de minimum ve maksimum w_1 ve w_2 değerleri sunulmuştur [7]. Yan bahçe mesafesi ise imar durumu tanımlarına göre belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında sadece $w_1 = w_2$ (küçük bahçeli) ve $2w_1 = w_2$ (büyük bahçeli) doku örnekleri ele alınmıştır. Kentsel yoğunluk h / w oranı

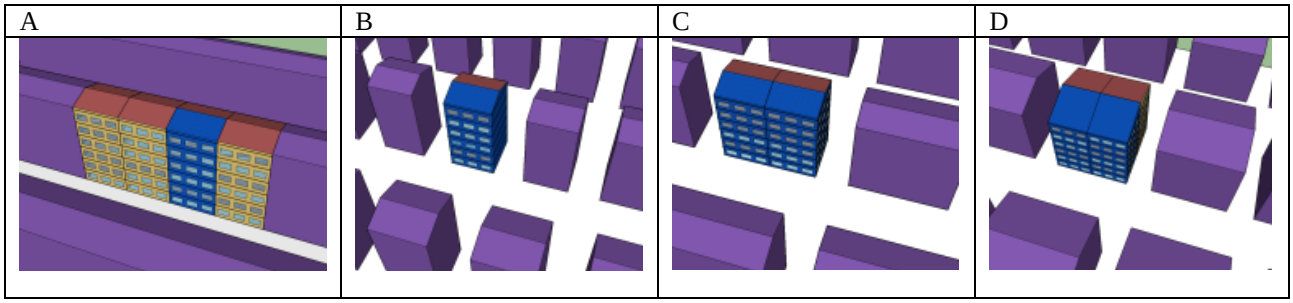
(bina yüksekliği/sokak genişliği) ile tanımlanmaktadır. Ele alınan bölgede, h / w = 1.1 örneği en yüksek yoğunluğu temsil ederken, h / w = 0.7 en düşük kentsel yoğunluğu temsil etmektedir.

Çizelge 1. Minimum ve maksimum w_1 ve w_2 değerleri [7].

		h/w_1				
		0,7	**0,8**	**0,9**	**1**	**1,1**
$w_1 = w_2$	**w_1**	26,4	23,1	20,6	18,5	16,8
	w_2	26,4	23,1	20,6	18,5	16,8
$2\ w_1 = w_2$	**w_1**	26,4	23,1	20,6	18,5	16,8
	w_2	52,9	46,3	41,1	37,0	33,6

2.2. Bina Tipolojisinin Tanımlaması

Tek bir katta bulunan daire sayısına bağlı olarak dört konut binası tipi bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Bu bina tipleri; Katta Tek Daireli Konut Binası, Katta İki Daireli Konut Binası (İkiz Bina), Katta Dört Daireli Konut Binası ve Bitişik Nizam Konut Binası olarak belirlenmiştir. Bu tipler Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 2. Bina tipleri: Bitişik Nizam (A), Katta Tek Daireli Bina (B), Katta Çift Daireli Bina (C) ve Katta Dört Daireli Bina (D) [7].

Katta bulunan konut sayısının değişmesine bağlı olarak konut birimleri cephelerinde duvar alanları, pencere alanları ve pencere konumları da değişmektedir. Fakat bu çalışmada her bir konut biriminin en az iki farklı cephesinde pencere bulunduğu varsayılmıştır. Bitişik Nizamlı konut tipinde sadece iki cephe vardır ve pencereler kuzey ve güney cephelerine yerleştirilmiştir. Katta Tek Daire bulunan ayrık nizamlı bina tipinde de Bitişik Nizamlı konut tipi ile karşılaştırabilmek için sadece kuzey ve güney cephelerine pencereler yerleştirilmiştir. Katta Dört Daire bulunan bina tipinde ise her bir konut biriminin en fazla iki dış cephesi olduğu için pencereler bu cephelere yerleştirilmiştir. Katta çift daire bulunan İkiz konut binası tipinde ise üç farklı pencere konumlandırma alternatifi bulunmaktadır. İkiz-1 bina tipinde kuzey ve güneyde; İkiz-2 bina tipinde ise güney, doğu ve batı cephelerine ve İkiz-3 bina tipinde ise tüm cephelere pencere konumlandırılmıştır. Sadece İkiz-3 bina tipinde, her bir konut biriminin üç farklı cephesinde pencere bulunmaktadır, diğer tüm konut birimlerinin iki farklı cephesinde pencere vardır.

2.3. Bina Özelliklerinin Tanımlanması

Örnek konut birimleri 100 m^2 olarak tanımlanmış ve binaların yapı kabukları TS-825 Standardı'na uygun olarak modellenmiştir. TS-825 standardında belirlenen yapı kabuğu ısı geçirme katsayısı üst sınır değerlerine (U-değerlerine) uygun olarak $U_{dış\ duvar}$= 0.57 W/m^2 ^oC, $U_{zemine\ oturan\ döşeme}$= 0.57 W/$m^2$ ^oC, $U_{çatı}$ = 0.38 W/m^2 ^oC ve $U_{pencere}$ = 1.8 W/m^2 ^oC olarak tanımlanmıştır. Kat yüksekliği 3m olarak tanımlanan konut birimlere ek olarak 50 cm yüksekliğindeki çatı parapet duvarı eklenerek bina yüksekliği belirlenmiştir. En az bir cephesi güneye bakacak şekilde konumlandırılan binaların cephe saydamlık oranları %30 olarak tanımlanmıştır. 2015 yılı İstanbul ili ortalama konut kullanıcı sayısı olan 3.5 kişi/hane birim başına konut kullanıcı sayısı olarak tanımlanmıştır.

Isıtma sistemi İstanbul'da yaygın olarak kullanılan doğal gazla ısıtılan sıcak sulu ısıtma sistemi olup, ısıtıcı olarak radyatörlerin kullanıldığı varsayılmıştır. Soğutma sistemi olarak ortak kullanılan split klima sistemi tanımlanmıştır. Güney yönüne güneş panelleri yerleştirilen çatının eğimi %33 olarak tanımlanmıştır. Çatıya ek olarak ve cephelere de güneş panelleri yerleştirilmiştir. Güneş panelleri binanın tüm güney cephesine yerleştirilmiştir. Doğu ve batı cephelerinde ise güneş panelleri güneyden 10 metre derinliğe kadar olan alan içerisine yerleştirilmiştir. Güneş panelleri aracılığı ile çatıdan ve cepheden üretilen enerji miktarları ayrıca hesaplanmıştır. Çizelge 2, bina tipine bağlı olarak çatı ve cephelere yerleştirilen güneş panellerinin alanlarını (m2) vermektedir.

Çizelge 2. Bina tipine bağlı olarak çatı ve cephelere yerleştirilen güneş panellerinin alanları (**m^2**)

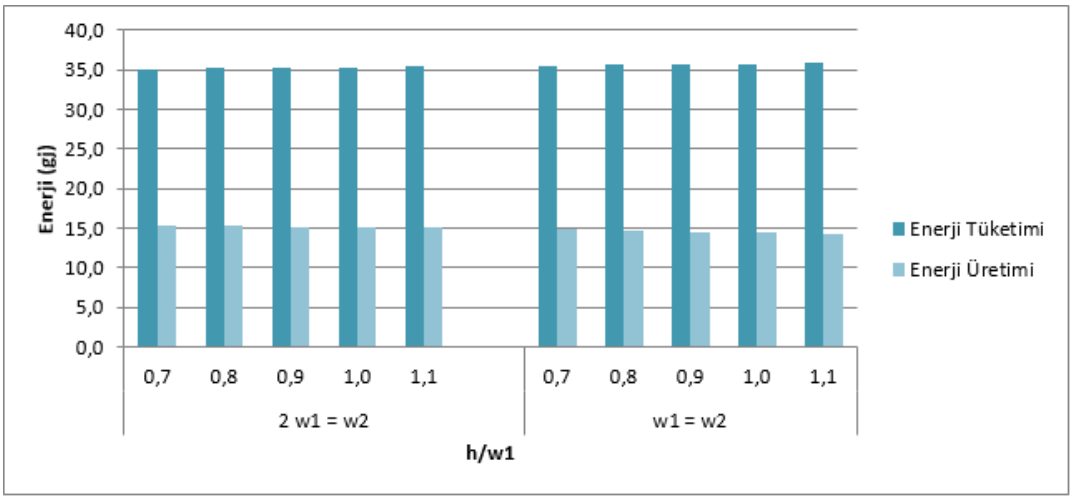
		Katta Dört Daire	**İkiz -1 Bina Tipi**	**İkiz -2 Bina Tipi**	**İkiz -3 Bina Tipi**	**Katta Tek Daire**	**Bitişik Nizam**
ÇATI		9,6	9,4	9,4	9,4	10,5	8,3
CEPHE	**Güney**	8,8	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7
	Doğu	4,4	15	8,8	8,8	30	-
	Batı	4,4	15	8,8	8,8	30	-

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

EnergyPlus simülasyon motoru ile yapılan simülasyon sonuçları aşağıda sunulmuştur. Her bir grafikte aynı konut tipinin iki farklı kentsel doku içerisinde farklı kentsel yoğunluk durumlarına bağlı olarak yıllık ortalama enerji tüketimleri ve güneş enerjisinden yıllık ortalama enerji üretimleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Her bir konut binası tipi için hazırlanan ayrıntılı sonuçlar ve analizleri aşağıda sunulmuştur.

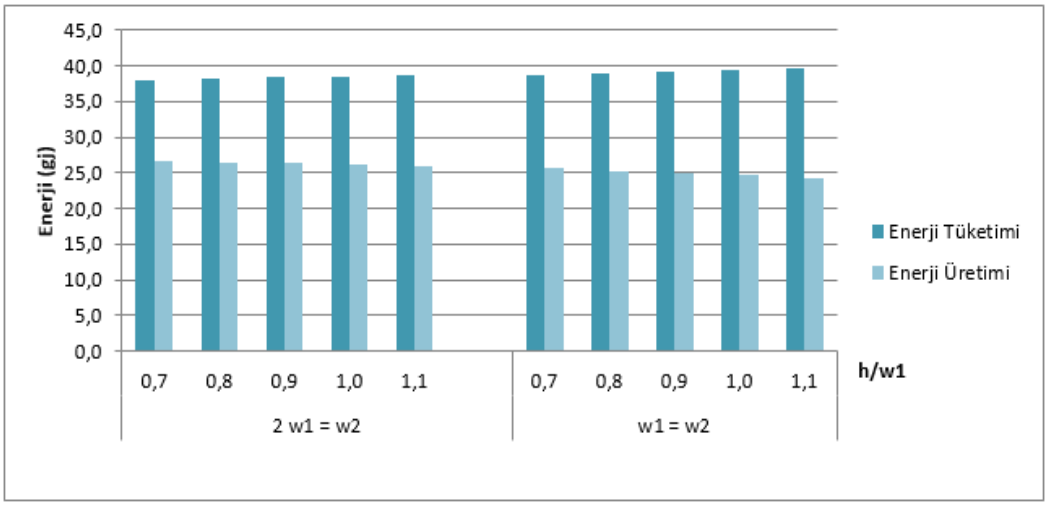
İlk bina tipi, her Katta Dört Dairesi bulunan ve toplamda 24 birimi olan bir konut yapısıdır. Bu konut binası tipine ait toplam on alternatifin simülasyon sonuçlarına göre, tek bir dairenin yıllık ortalama enerji tüketimi 35,5gj ve daire birimi başına düşen ortalama enerji üretimi 14,9gj'dür (Şekil 3). Kent dokusunda artan yoğunluk enerji üretiminde bir düşüşe neden olurken, enerji tüketiminin de artmasına neden olmaktadır. Bina yüksekliğinin komşu binaya olan mesafeye oranı (h/w oranı) 0.7' den 1.1'e doğru artması enerji tüketiminde artışa, enerji üretiminde

azalmaya neden olmaktadır. Genel olarak, güneş panellerinden üretilen enerjinin tek bir konut biriminin tükettiği toplam miktarını karşılama oranı en yüksek %44,7 (h/w=0,7 ; $2w_1=w_2$) ve en düşük %39,8 (h/w=1,1 ; $w_1=w_2$) olmaktadır. Tüketilen toplam enerji miktarını en yüksek ve en düşük karşılama oranları arasındaki fark kent dokusuna bağlı olarak %3,9'dur.



Şekil 3. Katta dört daire bulunan bina tipinde bir konut birimi için tüketilen ve üretilen enerji miktarları

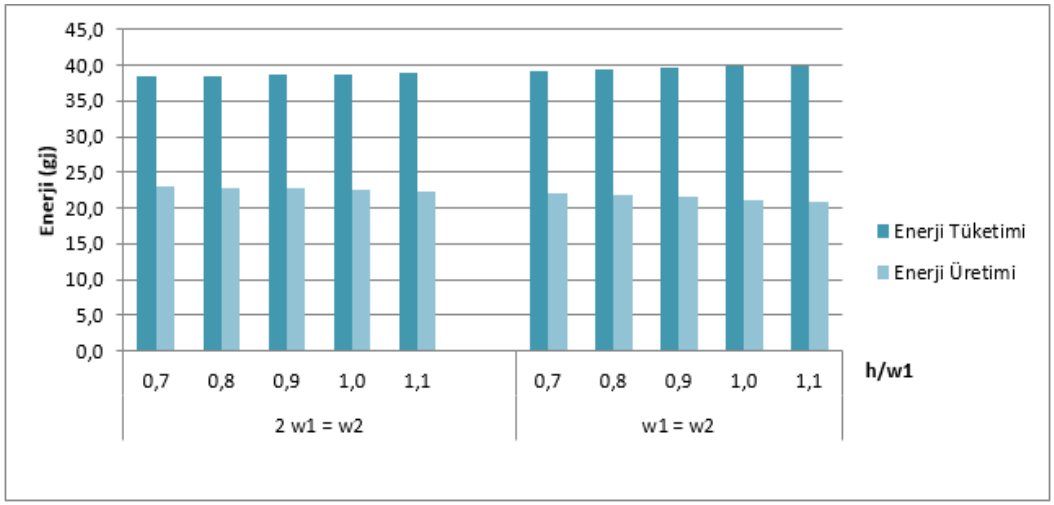
İkinci bina tipi, Katta İki Dairesi bulunan ve toplamda 12 birimi olan bir konut yapısıdır. Bu çalışma kapsamında, ikiz konut binası olarak adlandırılmıştır. Pencerelerin cephelerdeki konumlanmasına göre konut birimlerinin ortalama enerji tüketimi ve üretimi farklılık göstermektedir. Üç farklı pencere konumlanması durumunun simülasyon sonuçlarına göre kuzey ve güney cephelerinde pencereleri bulunan İkiz-1 bina tipi en az enerji tüketirken en fazla enerji üretmektedir (Şekil 4). Diğer bir ifade ile en iyi enerji performansına bu alternatif sahiptir. Bunun nedeni doğu ve batı cephelerinde pencerelerin bulunmaması nedeniyle soğutma yükleri minimum seviyeye indirilirken, bu iki cephede diğer alternatiflere göre daha fazla güneş paneli yerleştirilmesi ile enerji üretiminin artması olarak açıklanabilir.



Şekil 4. İkiz-1 konut birimi için tüketilen ve üretilen enerji miktarları

Şekil 4'te görüldüğü üzere, İkiz-1 bina tipinde konut birimi başına ortalama 38,8gj enerji tüketilirken, birim başına ortalama 25,6gj enerji üretilmiştir. Kent dokusunda artan yoğunluk enerji üretiminde de düşüşe neden olurken, enerji tüketiminin de artmasına neden olmaktadır. Güneş panellerinden üretilen enerjinin tek bir konut biriminin tükettiği toplam enerji miktarını karşılama oranı ve en yüksek %70,1 (h/w=0,7 ; 2 w_1=w_2) ve en düşük %61,4 (h/w=1,1 ; w_1=w_2) olmaktadır. Tüketilen toplam enerji miktarını en yüksek ve en düşük karşılama oranları arasındaki fark kent dokusuna bağlı olarak % 8.7'dir.

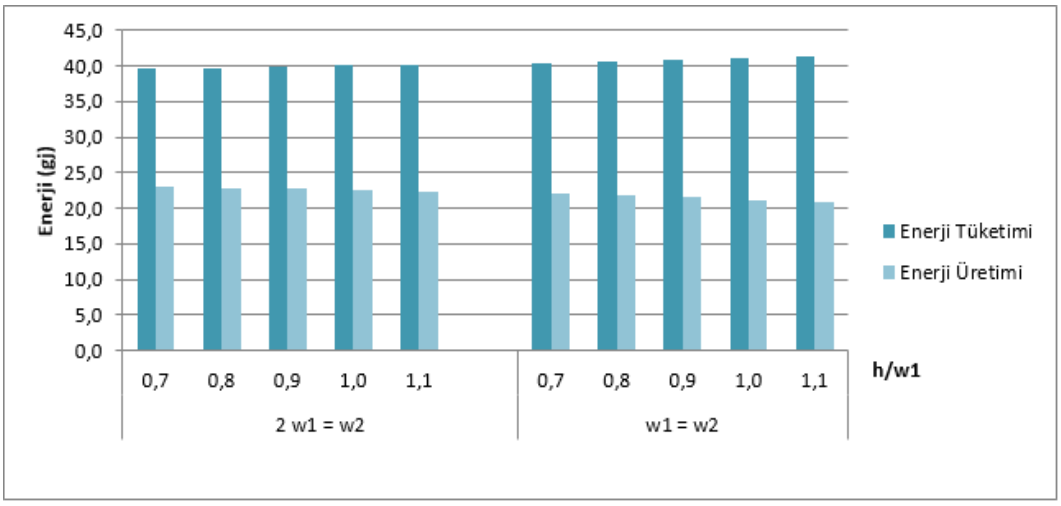
İkiz-2 konut tipinde, bir konut birimi ortalama 39,1gj enerji tüketirken 22,1gj enerji üretmektedir (Şekil 5). Güneş panellerinden üretilen enerjinin tek bir konut biriminin tükettiği toplam enerji miktarını karşılama oranı en yüksek %59,9 (h/w=0,7 ; 2 w_1=w_2) ve en düşük %52,3 (h/w=1,1 ; w_1=w_2) olmaktadır. Tüketilen toplam enerji miktarını en yüksek ve en düşük karşılama oranları arasındaki fark kent dokusuna bağlı olarak % 7,6'dir.



Şekil 5. İkiz-2 konut birimi için tüketilen ve üretilen enerji miktarları

İkiz-3 bina tipinde, bir konut birimi ortalama 40,4gj enerji tüketirken 22,1gj enerji üretebilmektedir (Şekil 6). Güneş panellerinden üretilen enerjinin tek bir konut biriminin tükettiği toplam enerji miktarını karşılama oranı en yüksek %58 (h/w=0,7 ; 2w_1=w_2) ve en düşük %50,6 (h/w=1,1 ; w_1=w_2) olmaktadır. Tüketilen toplam enerji miktarını en yüksek ve en düşük karşılama oranları arasındaki fark kent dokusuna bağlı olarak % 7,4'dir.

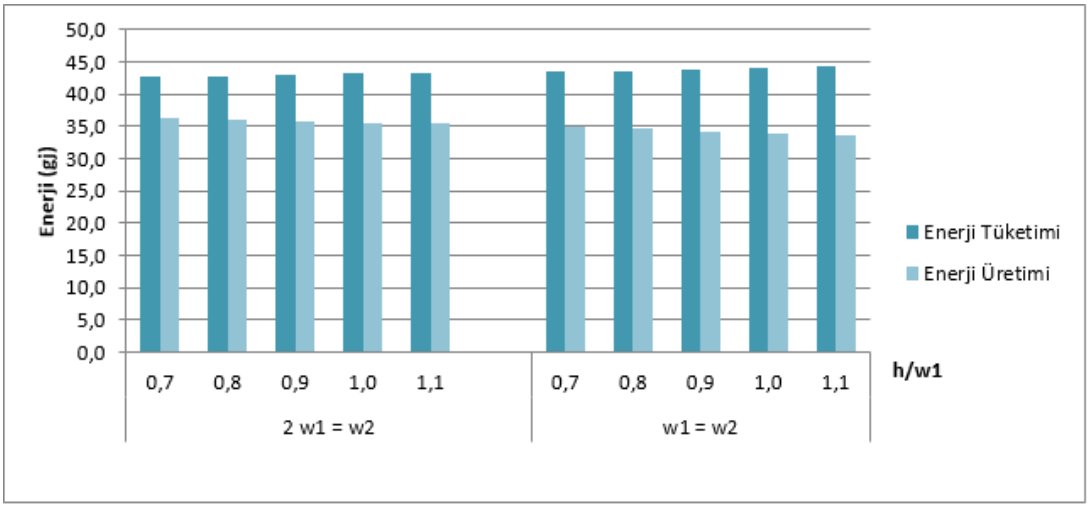
Özetle, pencere konumlandırılmasından bağımsız olarak üç farklı ikiz bina tipindeki konut birimlerinin ortalama enerji tüketimleri Katta Dört Daire bulunan bina tipi konut birimlerinin enerji tüketimlerinden fazla iken, enerji üretiminde durum bunun tam tersidir. İkiz binalardaki her bir birimin üç cephe duvarı vardır ve bunlar enerji tüketiminde negatif etki yaparken cephede birim başına düşen enerji üretilebilecek alanı artırmasından dolayı daha fazla enerji üretilebilmesine olanak sağlamaktadır. Katta Dört Daire bulunan bina tipinde ise her bir konut biriminin iki cephe duvarı vardır. Böylece enerji tüketiminde daha fazla tasarruf yapılırken, toplamda üretilen enerjinin 24 birim tarafından paylaşılması sebebi ile birim başına düşen enerji üretim miktarı daha azdır. Sonuç olarak İkiz bina tiplerinin enerji performansı Katta Dört Daire bulunan bina tipinden daha yüksektir. Buna ek olarak İkiz binalardan oluşan yerleşkelerde kent yoğunluğu daha düşük olduğu için güneş ışınımı ve rüzgârdan daha etkin yararlanılabilmektedir.



Şekil 6. İkiz-3 konut birimi için tüketilen ve üretilen enerji miktarları

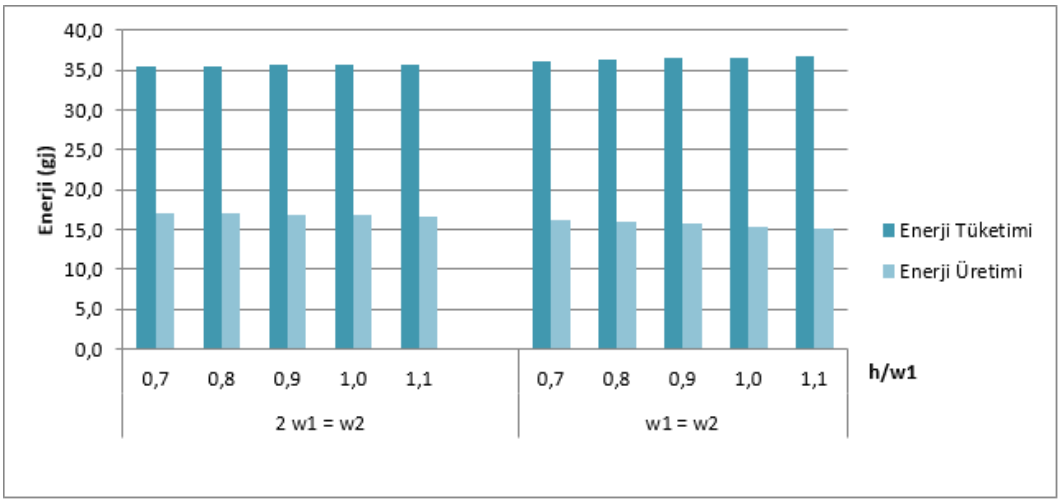
Üçüncü tip ise Katta Tek Daireden oluşan 6 birimli bir konut binasıdır. Bu bina tipinde bir konut biriminin ortalama enerji tüketimi 43,4gj iken, ortalama enerji üretimi 35gj'dür (Şekil 7). Kent dokusunda artan yoğunluk enerji üretiminde de bir düşüşe neden olurken, enerji tüketiminin de artmasına neden olmaktadır.

Ayrıca bir konut birimi toplam yıllık enerji tüketiminin %84,9-%75,6'sını üretebilmektedir. Bu tipdeki bir konut biriminin dört farklı cephe duvarına sahip olmasından dolayı, binadaki bir konut biriminin ortalama enerji tüketimi ikiz ve katta dört daireden oluşan binadaki bir birimden daha yüksektir. Öte yandan, bu durum enerji üretilebilir yüzey alanını artırdığı için bir avantajdır. Bu sebeple, Katta Tek Daire bulunan ayrık nizamlı bir konut binası birimi diğer tüm tiplerden daha fazla enerji üretebilmektedir. Güneş panellerinden üretilen enerjinin tek bir konut biriminin tükettiği toplam enerji miktarını karşılama oranı en yüksek %84,9 (h/w=0,7 ; $2w_1=w_2$) ve en düşük %75,6 (h/w=1,1 ; $w_1=w_2$) olmaktadır. Tüketilen toplam enerji miktarını en yüksek ve en düşük karşılama oranları arasındaki fark kent dokusuna bağlı olarak % 9,3'dir.



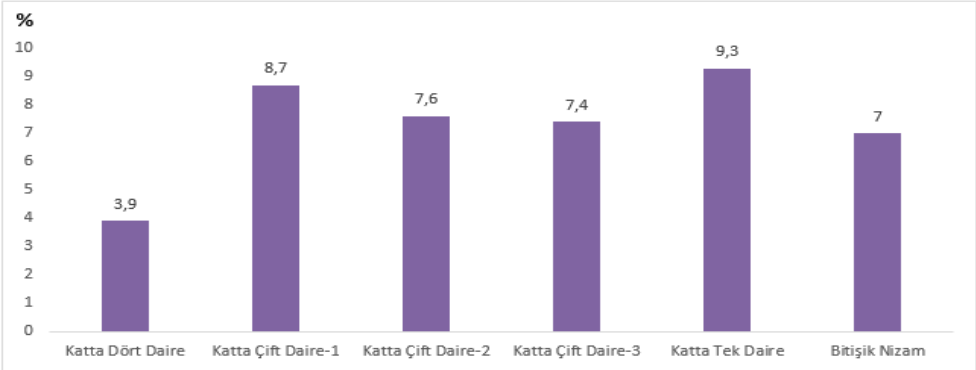
Şekil 7. Katta tek daireden oluşan bir konut birimi için tüketilen ve üretilen enerji miktarları

6 konutlu 6 katlı bitişik nizamlı bir konut binası için ise tek bir birimin ortalama enerji tüketimi 36gj ve tek bir birimin ortalama enerji üretimi 16,3gj'dür (Şekil 8). Kent dokusunda artan yoğunluk enerji üretiminde bir düşüşe neden olurken, enerji tüketiminin de artmasına neden olmaktadır. Bina yüksekliğinin komşu binaya olan mesafeye oranının (h/w oranı) 0.7' den 1.1'e artışı, enerji üretiminde azalmaya neden olurken enerji tüketiminde artışa sebep olmaktadır. Güneş panellerinden üretilen enerjinin tek bir konut biriminin tükettiği toplam enerji miktarını karşılama oranı en düşük %41,3 (h/w=1,1 ; w_1=w_2) ve en yüksek %48,3 (h/w=0,7 ; 2 w_1=w_2) olmaktadır. Tüketilen toplam enerji miktarını en yüksek ve en düşük karşılama oranları arasındaki fark kent dokusuna bağlı olarak %7'dir.



Şekil 8. Bitişik nizam binada yer alan bir konut birimi için tüketilen ve üretilen enerji miktarları

Kentsel dokuya bağlı olarak enerji üretiminin enerji tüketimini karşılama oranları farklılık göstermektedir. Aynı konut bina tipleri için oluşan farklılık Şekil 9' da incelenmiştir. Şekil 9' da güneş panellerinden üretilen enerjinin tek bir konut biriminin tükettiği toplam enerji miktarını en yüksek karşılama oranı ile en düşük karşılama oranları arasındaki farklar konut tiplerine bağlı olarak verilmiştir. Bu farklar kentsel dokunun etkisini göstermektedir. Buna bağlı olarak Katta Tek Daire bulunan konut tipinde kentsel dokunun etkisi %9,3 ile en fazla olurken, Katta Dört Daire bulunan bir konut binasına kentsel dokunun etkisi %3,9 olduğu söylenebilir.



Şekil 9. Kentsel dokuya bağlı olarak aynı tip konut birimleri için güneş panellerinden üretilen enerjinin tüketilen toplam enerji miktarını en yüksek ve en düşük karşılama oranları arsındakı fark (%)

4. SONUÇLAR

Bu çalışmanın sonucunda çatı ve cephede uygulanan güneş panellerinden üretilen enerji ile kent dokusu ve bina tiplerine bağlı olarak binaların enerji tüketimlerinin önemli oranda karşılanabileceği görülmüştür. TS-825 standardına uygun modellenen katta tek dairesi bulunan 6 katlı müstakil konut binası toplam yıllık enerji tüketiminin % 84,9' u çatı ve cephede enerji üretilerek karşılanabilmektedir. Bu açıdan Katta Dört Daire bulunan konut binası türü enerji üretimi açısından en az performans gösteren bina tipidir. Bunun nedeni cepheleri kuzeye ve doğuya bakan birimler ile kuzeye ve batıya bakan birimlerin cepheleri enerji üretimi için uygun olmamasıdır. Artan kentsel yoğunluktan dolayı cephelere ulaşan direkt güneş ışınımı süresinin azalması enerji üretimini azaltmakta ve enerji tüketimini de arttırmaktadır. Pencerelerin konumlandırılması cephelerinden enerji üretilen binalarda daha fazla önem kazanmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma kent dokusunun bina enerji tüketim performansı üzerinde olduğu kadar enerji üretim performansı üzerinde de önemli oranda etkisi olduğunu göstermektedir. Çalışmada planlı kentsel doku için çeşitli cephe alternatifleri analiz edilmiştir. Ancak farklı kentsel dokulara bağlı olarak cephenin enerji üretim performansının daha fazla artırılması da mümkün olabilecektir. Genelleştirilebilir sonuçlara ulaşabilmek ve en yüksek enerji üretimini sağlamak, enerji tüketimini de minimum seviyeye indirebilmek amacıyla daha farklı alternatiflerin geliştirilmesi ve analiz edilmesi gerekmektedir. Bu analiz, İstanbul'da devam eden kentsel yenileme çalışmaları için karar alıcılar ve tasarımcılara çok önemli girdi verileri sunabilecektir. Temel kararlardaki herhangi bir hatanın yüksek enerji tüketimlerine yol açacağı göz ardı edilmemelidir.

KAYNAKLAR

1. C. Lombard, L., Ortiz, J., Pout, "A review on building energy consumption information," *Energy Build.*, vol. 40, pp. 394–398, 2008.
2. UNFCCC, "Republic of Turkey - Intended Nationally Determined Contribution," 2015.
3. R. Thomas, *Sustainable urban design: an environmental approach*. London; New York: Spon Press, 2003.
4. J. Strømann-Andersena and P.A. Sattrupb, "J. Strømann-Andersena,∗, P.A. Sattrup. 2011. The urban canyon and building energy use Urban density versus daylight and passive solar gains . Energy and Buildings.pdf," *Energy Build.*
5. M. Horváth, D. Kassai-Szoó, and T. Csoknyai, "Solar energy potential of roofs on urban level based on building typology," *Energy Build.*, vol. 111, pp. 278–289, 2016.
6. C. Stina, G. Lobaccaro, and S. Hårklau, "Optimization of solar energy potential for buildings in urban areas – a Norwegian case study," in *Energy Procedia*, 2014, vol. 58, no. 1876, pp. 166–171.
7. H. Beyaztas and G. K. Oral, "Evaluating Energy Performance of Facades Related to Urban Texture," in *International Conferance on Building Envelope Systems and Technologies*, 2017, pp. 36–44.

NOTLAR

NOTLAR

Ana Sponsor

nurus

Sponsorlar

ÇEKÜL

ÇUHADAROĞLU
Alüminyum Sistemleri

Efectis

İZOCAM

3. Ulusal Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi'nin gerçekleştirilmesinde yaptıkları değerli katkılar için teşekkürlerimizi sunarız.