

1. ULUSAL YAPI FİZİĞİ VE ÇEVRE KONTROLÜ KONGRESİ

Bildiriler Kitabı

13-14 Mart 2014 • İTÜ Taşkışla, İstanbul

Yapı Fiziği Derneği
Association of Building Physics

1. ULUSAL
YAPI FİZİĞİ VE ÇEVRE KONTROLÜ KONGRESİ

13-14 Mart 2014

İTÜ Taşkışla, İstanbul

Yapı Fiziği Derneği
Association of Building Physics

www.yapifizigidernegi.org

1. ULUSAL YAPI FİZİĞİ VE ÇEVRE KONTROLÜ KONGRESİ

Bildiriler Kitabı

Editörler
Y. Doç. Dr. Nurgün Tamer Bayazıt
Öğr. Gör. Dr. Ş. Filiz Akşit

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

ISBN: 6517878

200 adet basılmıştır

Baskı ve Cilt: Altan Basım Ltd.

Yayınlayan:

B2B medya

Teknik Sektör Yayıncılığı A.Ş.
Barbaros Mah. Uğur Sk. No: 2/2 34662 Üsküdar / İstanbul
Tel: 0126 651 7878 / Faks: 0216 651 7898
www.b2bmedya.com • info@b2bmedya.com

SUNUŞ

Günümüzde istenilen nitelikte yapma çevreyi yaratabilmek için; ısı, ışık, ses, yangın gibi yapma çevre kontrol sistemleri, ısıtma-havalandırma, iklimlendirme, aydınlatma, yangın güvenliği gibi yapı servis sistemleri, enerji denetimi, alternatif enerji kaynakları, sürdürülebilirlik ve kalite, su korunumu, ısı, su, nem, ses, yangın yalıtımı konularını kapsayan Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü alanında geliştirilen çözümler büyük önem taşımaktadır. Toplumsal ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak artan gereksinmeler tek bir kişinin yapı fiziği ve çevre kontrolü konularının alt alanlarında tasarım, yapım, performans değerlendirme gibi aşamalara her düzeyde hakim olmasını olanaksız kılmakta, alt alanlarda uzmanlaşma ve ekip çalışması gelişimin zorunlu bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır.

Yapının kullanım amacına maksimum uygunluk, gereksinmelerin karşılanması ve üretkenliğin sağlanması, kullanıcıların sağlığının ve konfor koşullarının sağlanması, estetik ve sürdürülebilirliğin gerçekleştirilmesinde etkili olan parametrelerin en uygun değerlerinin belirlenmesi, yapma çevreyi gerçekleştiren tüm tasarımcılar için büyük önem taşımaktadır. Yaşadığımız çevre ve enerji problemleri karşısında, gereksinmeler, kullanıcı tarafından yapıda yer alacak eylemlerin özelliklerine, insanların fiziksel, sosyolojik ve psikolojik gereksinmelerine, enerji ve kaynakların sınır değerlerine bağlı olarak ortaya konmaktadır. Gereksinme ve olanakların tanımladığı pek çok çözüm bulunmaktadır. Bu noktada tasarımcı ve yapımcının hedefi, eldeki olanaklarla gereksinmelerin tanımladığı sınır içinde optimum fiziksel çevre tasarlamaktır.

Fiziksel çevrenin karmaşıklığının artışı, bu çevreyi yaratacak veya geliştirecek tasarımcının diğer alanlardaki uzmanlarla doğru bir bilgi alışverişinde bulunmasını zorunlu kılmaktadır. Bilgi alışverişi özellikle günümüzde mimar ve mühendislerin en önemli görevlerinden biri olan konforlu, enerji etkin ve sürdürülebilir bir çevrenin sağlanması için gereklidir. Bu gereklilik karşısında, Yapı Fiziği Derneği, Türkiye'de önümüzdeki yıllarda önemi daha da artacak ve yapı alanında köşetaşı olan Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü konusunda bilimsel çalışmalar yapmayı, sektörle işbirliği içinde konu alanındaki sorunlara çözüm üretmeyi ön plana almaktadır.

Bu bağlamda araştırma, tasarım, uygulama, üretim gibi değişik alanlarda çalışan akademisyen ve sektör temsilcilerini bir araya getirmek, karşılıklı bilgi aktarımında bulunmak ve özellikle yüksek lisans ve doktora yapan genç araştırıcıların çalışmalarının sunulmasını sağlamak amacıyla Yapı Fiziği Derneği tarafından düzenlenen 1. Ulusal Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi'ni gerçekleştirmekten onur duymaktayız.

Kongrenin başarılı geçmesi için, özverili çalışmalar yapan **yürütme kurulu üyelerine**, bildirileri ile bilimsel katkı yapan **katılımcılara, konuşmacılara, oturum başkanlarına, bilim kurulu üyelerine,** değerli katkıları için **Rehau** firmasına, baştan itibaren bizleri destekleyen birlikte çalışmaktan keyif aldığımız **B2B Medya**'ya, **2D Yapı** firmasına, emeği geçen herkese İTÜ Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Çalışma Grubu ve Yapı Fiziği Derneği adına çok teşekkür eder, sevgi ve saygılarımı sunarım.

Prof. Dr. Gül Koçlar Oral
Kongre Başkanı

1. ULUSAL YAPI FİZİĞİ VE ÇEVRE KONTROLÜ KONGRESİ

DÜZENLEME KURULU

Prof. Dr. Gül Koçlar Oral
Prof. Dr. Alpin Köknel Yener
Prof. Dr. Nil Türkeri
Y. Doç. Dr. Nurgün Tamer Bayazıt
Y. Doç. Dr. Gülten Manioğlu
Öğr. Gör. Dr. Ş. Filiz Akşit

BİLİMSEL KURUL

Prof. Dr. Neşe Yüğrük Akdağ (YTÜ)
Prof. Dr. Ayşe Erdem Aknesil (Beykent Ü.)
Prof. Dr. Nihal Arıoğlu (İTÜ)
Prof. Dr. Zerhan Yüksel Can (YTÜ)
Prof. Dr. Kemal Çorapçıoğlu (MSGSÜ)
Prof. Dr. Sevtap Yılmaz Demirkale (İTÜ)
Prof. Dr. Gülay Zorer Gedik (YTÜ)
Prof. Dr. Abdurrahman Kılıç (İTÜ)
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. Leyla Dokuzer Öztürk (YTÜ)
Prof. Dr. Leyla Tanaçan (İTÜ)
Prof. Dr. Nil Türkeri (İTÜ)
Prof. Dr. Rengin Ünver (YTÜ)
Prof. Dr. Alpin Köknel Yener (İTÜ)
Prof. Dr. Zerrin Yılmaz (İTÜ)

SEKRETERYA

Y. Doç. Dr. Nurgün Tamer Bayazıt
Öğr. Gör. Dr. Ş. Filiz Akşit

İÇİNDEKİLER

Binaların ısıtma ve soğutma yükü hesaplamalarında kullanılan statik yöntemlerin karşılaştırılması **7**
Sibel Maçka Kalfa, Yalçın Yaşar Asiye Pehlevan

Farklı cephelerde uygulanan çift kabuk cephe sistemlerinin yapı ısıl performansına etkisinin değerlendirilmesi **19**
Neslihan Türkmenoğlu Bayraktar

Konut binalarında saydamlık oranı-enerji maliyeti ilişkisi **33**
Esra Bostancıoğlu, BenihanTelatar

İskelet taşıyıcılı eğimli çatılarda farklı değişkenlerin 'ısı köprüsü' oluşumuna etkisi **43**
Özge Sarı, M.CemAltun

Dış etkenler sonucu yapılarda oluşan hasarların nedenlerinin belirlenmesi **53**
Seher Güzelçoban Mayuk, Erkan Avlar

Müze ve sergi mekanlarında aydınlatma prensiplerinin örnek uygulamalar üzerinden değerlendirilmesi **63**
Gökçe Erdemir, Alpin Köknel Yener

LuisKahn tarafından tasarlanan müzelerde günışığı : Bir karşılaştırma çalışması **73**
Seda Kaçel, BensonLau

Alışveriş mekanlarının aydınlatmasında güncel yaklaşımlar **83**
Merve Aşçıoğlu, Alpin Köknel Yener

Sinemasal aydınlatma teknikleri ve atmosfer yaratımı – Siyah Kuğu film örneği **93**
Meriç Bilen, Esra Sakınç

Okul binalarında doğal aydınlatma gereksiniminin tasarım parametreleri bağlamında irdelenmesi **103**
Mine Çelebi Yazıcıoğlu, Gülsu Ulukavak Harputlugil, Selahattin Önür

Malzemelerin mikro yapı özelliklerinin akustik performansa etkisi:
Gözeneklilik yapısı ile ses yutma özellikleri arasındaki ilişki **115**
Işın Meriç, Ayşe Tavukçoğlu, Mehmet Çalışkan

Isı ve nem kontrolü yapılmış çift tuğla duvarların ses yalıtım değerlerinin laboratuvarda
ölçülmesi ve irdelenmesi **125**
Sevtap Yılmaz, Mine Aşcıgil Dincer, Leyla Tanaçan, Gülten Manioğlu

Salonların mimari tasarımının akustik performansa etkileri: Fan ve elmas salon örneği **135**
Nuriye Nida Çelebi Şeker, Sevtap Yılmaz

TS EN 12354-1 ve TS EN ISO 140-4 standartlarının karşılaştırması:İstanbul'da bir konut örneği **145**
Hüsnü Çay, Sevtap Yılmaz, Mine Aşcıgil Dincer

Ses yalıtım performansı konusunda geliştirilen simulasyon araçlarının değerlendirilmesi **155**
Bilge Şan

Gölgenin açıklık-koyuluk özelliğinin belirlenmesine ilişkin bir yaklaşım **167**
Şensin Aydın Yağmur, Leyla Dokuzer Öztürk

Kumaş kaplamalarının homojenliğinin görüntü işleme yöntemi ile haritalandırılması **177**
Şemsettin Kılınçarslan, İsmail Serkan Üncü, Hakan Atsatan, İskender Akkurt, Feyza Akarslan

Aydınlatma tasarımının mağaza imajı üzerinde etkileri **185**
Rana Kutlu, Banu Manav

İÇİNDEKİLER (Devam)

Mimari aydınlatma tasarımında görsel konfor ve enerji performansı açılarından ürün seçimi üzerine bir inceleme **193**
Feride Şener Yılmaz

Binalara ilişkin aydınlatma enerji tüketimi öngörülerinde etkin bir değer:Kullanıcı kontrolü **205**
Arzu Cilasun, Tuğçe Kazanasmaz

Toplu konut yerleşmelerinin güneş ışınımı kazancı açısından değerlendirilmesi **213**
Fadime Yalçınkaya, Gülten Manioğlu, Şule Filiz Akşit

Enerji etkin yaklaşımda bir mobil bina tasarımı **223**
Hilal Parlak, Şule Filiz Akşit

Binalarda CO_2 salım miktarlarının azaltılması amacıyla bir toplu konut örneğinin değerlendirilmesi **231**
Özge Kundakçı, Gülten Manioğlu

Sıcak kuru iklim bölgesinde yerleşme dokusu-form-enerji etkileşimi **241**
İdil Erdemir, Gül Koçlar Oral

Bir konut binası örneğinde PV sistemlere ilişkin enerji performans göstergelerinin hesaplanması **251**
Suzi Dilara Mangan, Gül Koçlar Oral

Mimarlık eğitiminde enerji etkin tasarım **259**
Gül Koçlar Oral, Alpin Köknel Yener

Sürdürülebilir tasarımlar için BIM kullanımı ve kolay analiz yöntemleri **269**
Ahmer Turan Köksal

Türkiye'deki mimarlık eğitiminde akustik: Güncel durum **279**
Onurcan Çakır, Zeynep Sevinç, M. Emre İlal

Müziğin Geometrisi: Ulvi Cemal Erkin Örneği **289**
Didem Acar

Toplu konut yerleşmelerinde rüzgar ve gürültü açısından uygun kullanım alanlarının belirlenmesi **299**
Fatih Kiraz, Gülay Zorer Gedik, Neşe Yüğrük Akdağ, Raşide Çaçan, Bekir Şener

Dış duvarlarda sıcaklık, su ve nem performansının incelenmesi **309**
Filiz Umaroğulları, Esma Mıhlayanlar, Gülay Zorer Gedik, Selda Hasan

Isı yalıtım maliyetinin toplam bina maliyetindeki yeri: Yunanistan-Türkiye karşılaştırması **319**
Esma Mıhlayanlar, Simpel İsmail

Sürdürülebilir mimari tasarımda aerojeller **331**
Müjde Altın, Ahunur Aşıkoğlu

Bioklimatik mimarinin enerji verimliliği açısından önemi ve uygulama örnekleri **343**
Semiha Kartal, Şule Yılmaz Erten, Ömer Chousein

Ankara'da bir fakülte binasının 'binaların yangından korunması hakkındaki yönetmelik' kapsamında incelenmesi **353**
Füsun Demirel, Özlem Hoçanlı, Tuba Tunç Kurt

BİNALARIN ISITMA VE SOĞUTMA YÜKÜ HESAPLAMALARINDA KULLANILAN STATİK YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Araş. Gör. Sibel Maçka Kalfa[a]
Prof. Dr. Yalçın Yaşar[b]
Prof. Dr. Asiye Pehlevan[c]
KTÜ Mimarlık Fakültesi
Trabzon, 61080

ÖZET

Günümüzde, enerjiye olan talebin gün geçtikçe artması ve yenilenemez enerji kaynaklarının sınırlı olması, binaların tasarım ve işletilmesinde enerjinin etkin kullanılmasının önemini ortaya koymuştur. Binalarda ısıtma ve soğutma için gerekli enerji miktarının hesabı için bir çok yöntem mevcuttur. Bu yöntemler statik yöntemlerden, dinamik yöntemlere kadar çeşitlilik göstermektedir. Bu yöntemler arasında statik yöntemler en basit ısıtma ve soğutma yükü hesap yöntemleri olup halen daha günümüzde bir çok araştırmacı tarafından sıklıkla kullanılmaktadırlar. Bu çalışmada ilk olarak statik hesap yöntemleri tanıtılmış ve bu yöntemler dayandıkları temeller, kabulleri ve kapsamları açısından karşılaştırılmıştır. Sonrasında, Bursa ilinde konumlanan örnek bir bina modelinin ısıtma ve soğutma yükü bu yöntemlere göre hesap edilmiştir. Bu çalışmada tek zonlu ısıtma ve soğutmanın yapılmadığı basit işlevli binalarda bina elemanlarındaki değişimin ısıtma ve soğutma yüküne etkisini dinamik yöntemlere gore çok daha kısa sürede veren ve mimara tasarım aşamasında bina elemanlarının seçiminde yol gösterecek olan statik yöntemlerin kullanımının yaygınlaştırılması ve bu yöntemlerle elde edilen sonuçlara olan güvenilirliğin artırılması amaçlanmıştır.

Anahtar sözcükler: *Isıtma Yükü, Soğutma Yükü, Statik Yöntemler, Derece-Gün Yöntemi, Bin Yöntemi, TS825 Yöntemi*

ABSTRACT

Nowadays, increasing energy demand and insufficient non-renewable energy sources expose importance of energy efficiency in buildings's design and operation. There are several method for calculation of heating and cooling energy consumption of buildings. These methods range from static methods to dynamic methods. Static methods among these methods are the simplest heating and cooling load calculation methods and they have been still substantially used by many researchers. In this study, firstly, static calculation methods are described and these methods are compared in terms of principles, acceptances and contents. Then, heating and cooling load of the hypothetical building model located in Bursa are calculated according to these methods. The aim of this study that are universalized usage of static methods calculating shorter time than dynamic methods to the effects of variation in building elements on heating and cooling loads and leading the way an architect in design stage in selection of building elements and are increased reliability of results of these methods in the simple function buildings having one zone without heating and cooling.

Key words: Heating Load, Cooling Load, Static Methods, Degree-Day Method, Bin Method, TS 825 Method

[a] e-posta adresi: sibelmacka@ktu.edu.tr

1.GİRİŞ

Günümüzde enerjiye olan ihtiyaç; teknolojik gelişmeler, nüfus ve bina stoğundaki artışa bağlı olarak gün geçtikçe artmaktadır. Bu artıştan kaynaklı olarak üretilen enerji tüketilen enerjiyi karşılayamamakta ve enerji açısından dışa bağımlı hale gelinmektedir. Enerji istatistiklerine göre; Türkiye'de bina sektörünün toplam enerji tüketimindeki payı son yıllarda %40 oranına ulaşmıştır **[1]**. Binalarda tüketilen enerjinin genel olarak fosil kaynaklı olması sorunu artırmakta ve bina sektörüne büyük sorumluluklar yüklemektedir. Bu nedenlerle enerjiyi kullanan her sektör gibi bina sektöründe de enerji kullanımını azaltacak önlemler almak yani enerji etkin bina tasarlamak çok büyük önem arz etmektedir.
Son yıllarda karşılaşılan enerji ve çevre ile ilgili problemlerden kaynaklı olarak enerji etkin bina tasarlamak için bina sorumluları; binalardaki toplam enerji kullanımlarını hesaplamada bina enerji simülasyon programlarından faydalanmaktadırlar **[2]**. Ancak her bir program binanın ısıtma-soğutma yükünü farklı hesap yöntemleri kullanarak belirlemektedir. Bundan dolayı binanın ısıtma-soğutma yükünü gerçek koşullara en yakın tespit edecek yöntemin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Binaların ısıtma ve soğutma yükü hesabında kullanılan statik yöntemler; derece-gün, bin ve TS 825 yöntemi olmak üzere üç grup altında incelenmektedirler. Günümüze kadar birçok araştırmacı bina modellerinin ısıtma ve soğutma yükleri hesap yöntemleri üzerine çalışmışlardır **[3-18].** Bu çalışmalar arasında statik hesap yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalar **[7-18]**; farklı iklim bölgeleri için ısıtma ve soğutma yükü hesabında gerekli derece-gün, derece saat değerlerini ve bin değerlerini elde etmek ve bu değerler kullanılarak haritalama, istatistiksel analiz vb. gibi çalışmalar yapmak üzere odaklanırken, TS 825 yöntemi üzerine yapılan çalışmalar **[16-18]** bulunulan iklim bölgesi için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi üzerine odaklanmıştır. Statik yöntemler üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde çalışmaların her birinin farklı bir hesap yöntemi kullandığı açıkça görülmektedir. Bundan dolayı bu çalışmalar üzerinde bir karşılaştırma yapmak ve hesap yöntemleri arasındaki farkları belirlemek zor olmaktadır. Bu çalışmada statik yöntemlerin detaylı incelemesi yapılarak, tek zonlu sadece bina elemanlarındaki değişimin ısıtma ve soğutma yüküne etkisinin test edilmesi amacıyla ısıtma ve soğutmanın yapılmadığı örnek bir bina modeli üzerinde farklı hesap yöntemleri kullanılarak ısıtma ve soğutma yükü hesaplanmıştır. Bu sayede farklı yöntemlerden elde edilen sonuçların karşılaştırılabilmesi ve yöntemlerin güvenilirliğinin test edilmesi amaçlanmıştır.

2. BİNALARDA ISITMA VE SOĞUTMA YÜKÜ HESABINDA KULLANILAN STATİK YÖNTEMLER

Statik yöntemlerde binaların ısıtma-soğutma yükleri aylık veya sezonluk olmak üzere uzun zaman aralıklarıyla hesaplanmaktadır **[19].** Statik yöntemler kullanılarak basit sistemler ve uygulamalar için az veri ile yeterli sonuç elde edilebilmektedir. Derece-gün yöntemi, Bin yöntemi ve TS 825 yöntemi bu grup içerisinde değerlendirilen yöntemlerdir **[19-21].**

2.1. Derece-gün Yöntemi

Derece-gün yönteminde; ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerinin yıl boyunca kullanım şeklinin değişmediği diğer bir deyişle verimlerinin sabit olduğu, iç ortam sıcaklığının ve içsel kazançların değişmediği varsayılır **[19,20].** Isıtma-soğutma derece-gün değeri 24 saatlik

periyodun ne kadarının soğuk - sıcak geçtiğini ölçmeye yarayan bir birimdir ve belirli bir zamanda (gün, ay, yıl) günlük ortalama dış ortam sıcaklığı ve denge noktası sıcaklığını hesaba katarak soğuğun ve sıcağın şiddetini hesaplar **[20].** Bu çalışmada karşılaştırılabilir ve ortak bir kullanım oluşturmak için Avrupa Birliği İstatistik Ofisi (Eurostat) tarafından önerilen denge noktası sıcaklıkları kullanılmıştır (ısıtma için; 18^0C, soğutma için; 22^0C). Aşağıdaki eşitliklerde ısıtma ve soğutma derece-gün değerlerinin hesabı ve bu değerler kullanılarak örnek bir bina modelinin ısıtma ve soğutma yükünün hesabı görülmektedir.

Isıtma derece-gün değeri;

$$IDG = \sum_{GÜN}(t_{denge} - t_{do})^{+} \quad (1)$$

Soğutma derece-gün değeri;

$$SDG = \sum_{GÜN}(t_{do} - t_{denge})^{+} \quad (2)$$

t_{denge} (^{0}C) denge noktası sıcaklığını, t_{do} (^{0}C) günlük dış ortam sıcaklığını ifade etmektedir. Isıtma derece-gün değeri için 365 gün için denge noktası sıcaklığının dış ortam sıcaklığından farkı pozitif olanlar hesaba katılırken, soğutma derece-gün değeri için ise dış ortam sıcaklığının denge noktası sıcaklığından farkı pozitif olanlar hesaba katılır.

Isıtma ve soğutma yükünün hesabı;

$$Q_{□s□tma,soğutma} = \frac{K_{top}}{H\eta_{□s□tma,soğutma}}(IDG, SDG) \quad (3)$$

K_{top} (W) binanın toplam ısı transfer katsayısını, H yakıtın ısıtma ve soğutma değerini, ή ısıtma ve soğutma sistem verimliliğini ifade etmektedir. Ancak bu çalışmada ısıtma ve soğutma yükü hesaplanan bina modellerinde ısıtma ve soğutma sistemlerinin olmadığı varsayıldığı için 3 ve 4 nolu eşitliklerde yer alan H ve ή değerleri dikkate alınmamıştır. Binanın toplam ısı transfer katsayı - K_{top} (W) ise aşağıdaki 5 nolu eşitlik vasıtasıyla hesaplanmaktadır.

2.2. Bin Yöntemi

Sıcaklık aralığı (BİN) yöntemi, ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerinin verimlerinin, denge noktası sıcaklığının, bina kullanım şeklinin ve toplam ısı transfer katsayısının sabit olmadığı pek çok uygulamada, basit enerji tahmin yöntemi olarak derece-gün yönteminden daha hassas sonuçlar verdiğinden yaygın olarak kullanılmaktadır Bin yönteminde günlük ortalama dış ortam sıcaklığı yerine, saatlik dış ortam sıcaklık değerleri kullanılarak, sıcaklık ve zaman aralıkları ayrı ayrı değerlendirilerek enerji tüketimi günlük, aylık veya yıllık olarak belirlenebilmektedir Bin yönteminde, belirli bir dönem içerisinde (ay,yıl) dış ortam sıcaklığının (t_{do}) ele alınan belirli aralıklarında (bin) kaç saat (N_{bin}) oluştuğu tespit edilir. Bu sıcaklık değerinin oluşma süresine (saatine) göre enerji miktarı belirlenir. Toplam enerji tüketimi bütün sıcaklık aralıklarındaki enerji tüketimleri toplanarak bulunur **[19,20].** Aşağıdaki 4 ve 5 nolu eşitliklerde elde edilen bin değerleri kullanılarak aylık ısıtma ve soğutma yükünün nasıl hesaplandığı görülmektedir. Yıllık hesaplamalar 12 ay için elde edilen değerler toplanarak elde

edilmektedir. Bu çalışma için bin değerleri -34^{0}C'den 44^{0}C'ye kadar 3^{0}C'lik sıcaklık aralığında, günlük 4 saatlik 6 zaman dilimine gore hesap edilmiştir.

$$\Phi_{ısıtma,aylık} = N_{bin} K_{top} x (t_{denge} - t_{do})^{+} \quad (4)$$

$$\Phi_{soğutma,aylık} = N_{bin} K_{top} x (t_{do} - t_{denge})^{+} \quad (5)$$

N_{bin} aylık bin değerini, K_{top} (W) binanın toplam ısı transfer katsayısını, t_{denge} (^{0}C) denge noktası sıcaklığını, t_{do} (^{0}C) günlük dış ortam sıcaklığını ifade etmektedir.

2.3. TS 825 'Binalarda Isı Yalıtım Kuralları' Yöntemi

TS 825; 2000 yılında yürürlüğe giren, 2008 yılında ise enerji ihtiyacı sınır değerleri düşürülerek yenilenen zorunlu yalıtım standartıdır. TS 825 hesaplama sonucu olarak binanın toplam ısıtma yükünü verse de asıl amacı binaya uygulanması gereken minimum yalıtımı ve pencere özelliklerini belirlemektir. Türkiye'yi 4 ısıtma derece-gün bölgesine ayıran ve bu derece-gün bölgelerinin aylık ortalama iklimsel verilerinin kullanıldığı statik bir hesaplama yöntemidir [9]. Yeterli seviyede ısı yalıtımı sağlanmış bir yapıda, ısıtma periyodunda, iç ortamda belli bir iç ortam sıcaklığını (t_{io} – ^{0}C) sağlamak için gereken ısı enerjisinin bir kısmı iç kaynaklardan ve güneş enerjisinden sağlanır. Kalan miktarın ısıtma sistemi tarafından iç ortama verilmesi gerekir. Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı olarak tanımlanan bu miktar, toplam kayıplardan, güneş enerjisi kazançları ve iç kazançlar çıkartılarak hesaplanır. Örnek çalışmada incelenecek bina modelinde diğer yöntemlerle karşılaştırılabilir olması açısından içsel kazançlar dikkate alınmamıştır. Aşağıdaki 6 nolu eşitlikte aylık ısıtma yükü hesabı görülmektedir.**[21]**.

$$Q_{ay} = \left[H(t_{io} - t_{do}) - \eta_{ay} \phi_{sol,ay}\right] z \quad (6)$$

Q_{ay} aylık ısıtma yükünü (W), H binanın özgül ısı kaybını (W/K), t_{io} iç ortam sıcaklığını (^{0}C), t_{do} aylık ortalama dış ortam sıcaklığını (^{0}C), η_{ay} kazançlar için aylık kullanım faktörünü, $\phi_{sol,ay}$ aylık ortalama güneş enerjisi kazancını (W), z saniye olarak zamanı ifade etmektedir.

2.4. Statik Yöntemlerin Karşılaştırılması

Statik yöntemler aşağıda kullandıkları verilere göre karşılaştırılmıştır **(Çizelge 1).** Bu çizelgeye göre en fazla veri TS 825 yönteminde kullanılmaktadır. Bin yönteminde hesaplar diğer yöntemlerden farklı olarak günlük olarakda hesap edilmekte, TS 825 yöntemi kullanılarak soğutma yükü hesabı yapılamamaktadır.
Statik yöntemler kullandıkları araç, iklimsel veri türü, enerji yükü, rejim durumu, hesap edilebilen zon sayısı ve güvenilirlik kriterlerine göre aşağıda sınıflandırılmıştır **(Çizelge 2)**.

Çizelge 1: Statik yöntemlerin karşılaştırılması **[19-21]**.

	Derece-gün yöntemi	Bin yöntemi	TS 825 yöntemi
Dış ortam sıcaklığı-t_{do} (^{0}C)	Günlük	Saatlik	Aylık
Güneş ışınım şiddeti-I_t(W/m^2)	-	-	Aylık
Isıtma-soğutma denge noktası sıcaklığı-t_{denge}(^{0}C)	+	+	-
Binanın toplam ısı transfer katsayısı-K_{top} (W)	+	+	+
İç ortam sıcaklığı- t_{io} (^{0}C)	-	-	19
Bin değeri -N_{bin}	-	+	-
Güneş enerjisi kazançları-Φ_{sol}(W)	-	-	Aylık
Binanın özgül ısı kaybı-H (W/K)	-	-	Aylık
Isıtma yükü- $\Phi_{ısıtma}$(W)	Aylık,yıllık	Günlük,aylık,yıllık	Aylık,yıllık
Soğutma yükü- $\Phi_{soğutma}$(W)	Aylık,yıllık	Günlük,aylık,yıllık	-

Çizelge 2: Statik yöntemlerin karşılaştırılması **[19-21]**.

Yöntem	Araç	İklimsel veri	Yük	Rejim	Zon sayısı	Güvenilirlik
Derece-gün	Manuel Bilgisayar	Günlük ortalama	Isıtma soğutma	Sürekli	Tek zonlu yapılar	+
Bin	Manuel Bilgisayar	Saatlik	Isıtma soğutma	Geçici	Tek zonlu yapılar	+++
TS 825	Manuel Bilgisayar	Aylık ortalama	Isıtma	Sürekli	Tek zonlu yapılar	++

3. YÖNTEM

Statik hesap yöntemleri kullanılarak Bursa ilinde konumlanan 50 m^2 taban alanına sahip tek katlı bir konut modelinin ısıtma ve soğutma yükleri hesaplanmıştır. Isıtma yükü için ısıtma sezonu olan Ocak, Şubat, Mart, Ekim, Kasım ve Aralık ayları, soğutma yükü için soğutma sezonu olan Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları dikkate alınmıştır. Bin yöntemi hariç, Derece-gün yöntemi ve TS825 hesap yöntemleri kullanılarak günlük hesaplamalar yapılamadığı için tüm yöntemlerde değerlendirmeler aylık değerler üzerinden yapılmış ve sonuçlardaki farklılıklar tartışılmıştır.

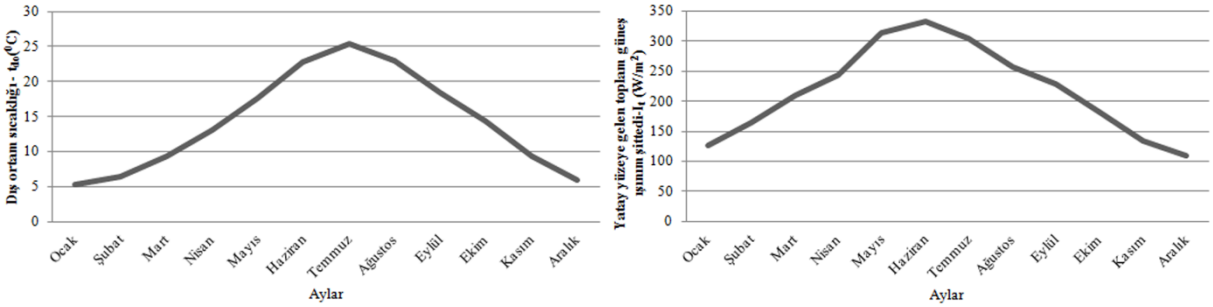
3.1. Bina Modelinin Konumsal ve İklimsel Özellikleri

Örnek bina modeli Bursa ilindedir. Bursa iline ait konumsal bilgiler **Çizelge 3'de**, hesaplamalarda kullanılacak saatlik iklimsel veriler **Şekil 1'de** verilmiştir. Hesaplamalarda

kullanılan iklimsel veriler, 2000-2010 yılları arası uzun dönem iklimsel veriler temel alınarak Bursa ili için oluşturulan TMY2 iklimsel veri dosyasından elde edilmiştir.

Çizelge 3: Bursa iline ait konumsal veriler**[22]**.

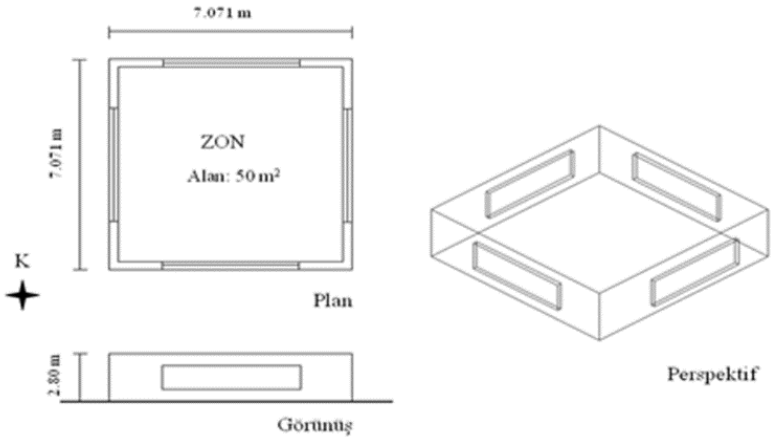
İl	Boylam (^{0})	Enlem(^{0})	Yükseklik (m)	Süreç	Toplam yıl
Bursa	29.04	40.11	100	2000-2010	11



Şekil 1: Bursa iline ait ısıtma ve soğutma sezonu için saatlik dış ortam sıcaklığı- t_{do} (^{0}C) ve yatay yüzeye gelen toplam güneş ışınım şiddeti-I_t (W/m^2) **[22].**

3.2.Bina Modeline Ait Veriler

Bu çalışma için seçilen bina modelinin taban alanı 50 m^2, kat yüksekliği 2.80 m, genişlik ve uzunluk ölçüleri 7,071x7,071 m'dir. Bina saydamlık oranı her cephede %15'dir. **Şekil 2'de** bina modeline ait plan, görünüş ve perspektifler verilmiştir. **Çizelge 4'de** bina modelinin konstrüksiyonunu oluşturan katmanlar ve özellikleri verilmiştir.



Şekil 3:İncelenen bina modelinin plan, görünüş ve perspektifi

Çizelge 4. Bina modellerinin konstrüksiyonuna ait veriler

Bina konstrüksiyonu	Katmanlar	Kalınlık-d (m)	Isıl iletkenlik- λ (W/m.K)
Dış duvarlar	İç sıva	0.02	0.35
	Beton	0.20	0.22
	Isı yalıtım-EPS	0.05	0.04
	Dış sıva	0.02	0.35
Döşeme	Şap	0.02	0.35
	Isı yalıtım-EPS	0.06	0.04
	Beton	0.20	0.22
Çatı	Sıva	0.02	0.35
	Isı yalıtımı-EPS	0.10	0.04
	Beton	0.20	0.22
Pencere	Berrak cam+hava boşluğu+berrak cam Berrak cam	0.06+0,12+0,06	1

4. ISITMA VE SOĞUTMA YÜKÜ HESAP SONUÇLARI

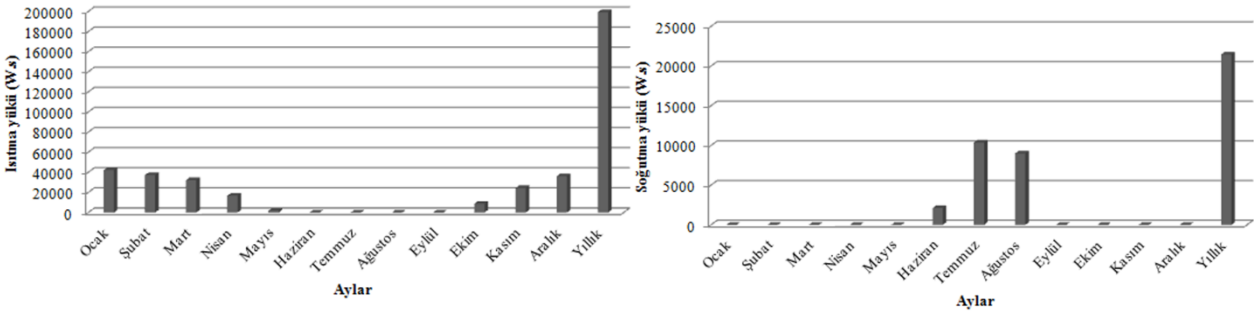
Bu bölümde örnek binanın ısıtma ve soğutma yükü ısıtma ve soğutma sezonunu içeren aylar için derece-gün yöntemi, bin yöntemi, TS 825 yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu yöntemlerde aylık ve yıllık hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Derece-Gün yöntemi hesap sonuçları;

Bursa ili için hesaplanan ısıtma ve soğutma derece-gün değerleri **Çizelge 5'de** verilmiştir. Örnek bina modelinin bu değerler kullanılarak elde edilen aylık ve yıllık ısıtma ve soğutma yükleri **Şekil 3'te** verilmiştir. Bölüm 3'te belirtildiği gibi ısıtma yükü için ısıtma sezonu olan Ocak, Şubat, Mart, Ekim, Kasım ve Aralık ayları, soğutma yükü için soğutma sezonu olan Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları dikkate alınacaktı. Ancak **Çizelge 5** incelendiğinde soğutma sezonu içerisinde kabul edilen Nisan, Mayıs, Eylül ve Ekim aylarında Bursa ilinde soğutma derece-gün değerinin 0 olduğu, bu aylarda ısıtma derece-gün değerinin olduğu ve ısıtma yüküne katkı sağladığı görülmektedir.

Çizelge 5: Bursa ili aylık ısıtma ve soğutma derece-gün değerleri

İstasyon No/il	AY	IDG	SDG
17116/BURSA	OCAK	399	0
	ŞUBAT	352	0
	MART	305	0
	NİSAN	158	0
	MAYIS	17	0
	HAZİRAN	0	20
	TEMMUZ	0	98
	AĞUSTOS	0	85
	EYLÜL	0	0
	EKİM	82	0
	KASIM	231	0
	ARALIK	341	0



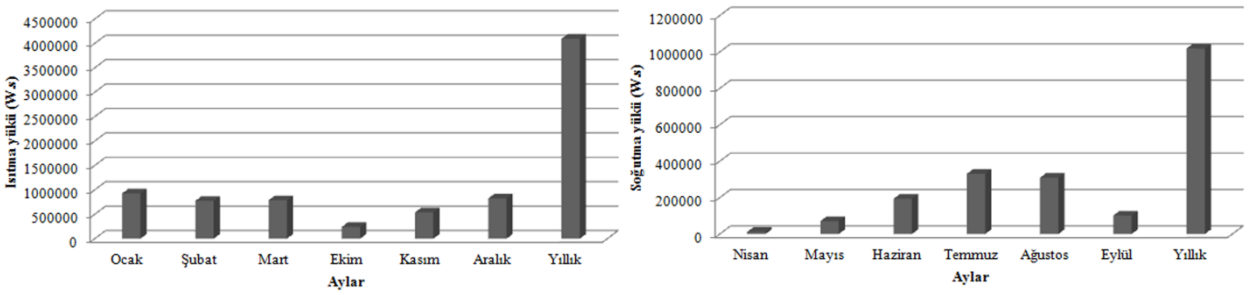
Şekil 3: Derece-gün yöntemi aylık ve yıllık ısıtma ve soğutma yükü (W)

Bin yöntemi hesap sonuçları;

Bursa iline ait ısıtma sezonu içerisindeki aylar için 18^0C denge noktası sıcaklığında, soğutma sezonundaki aylar için 22^0C denge noktası sıcaklığında hesap edilen Bin (N_{bin}) değerleri **Çizelge 6'da** verilmiştir.
Örnek bina modelinin elde edilen bin değerleri kullanılarak hesaplanan aylık ve yıllık ısıtma ve soğutma yükleri **Şekil 4'te** verilmiştir. Derece-gün yöntemi hesap sonuçları ile karşılaştırıldığında aylık ve yıllık ısıtma-soğutma yüklerinde ciddi bir artış gözlenmiştir. Bunun nedeni derece-gün yönteminde katsayı olarak günlük dış ortam sıcaklık ortalamalarının denge noktası sıcaklığından farklarının toplamının, BİN yönteminde ise her saat aralığındaki Bin değerleri toplamı ve dış ortam sıcaklığı ve denge noktası sıcaklığı arasındaki farkın dikkate alınmasıdır.

Çizelge 6: Bursa ili aylık bin değerleri

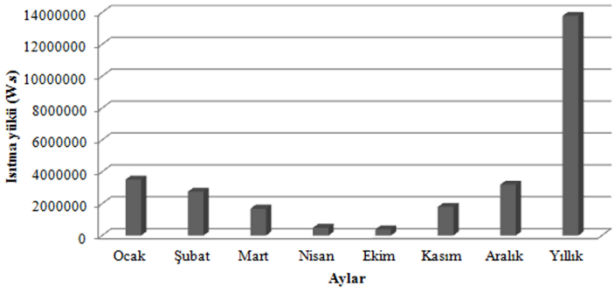
İstasyon No/il	AY	Bin değeri
17116/BURSA	OCAK	701
	ŞUBAT	619
	MART	664
	NİSAN	31
	MAYIS	156
	HAZİRAN	329
	TEMMUZ	498
	AĞUSTOS	475
	EYLÜL	202
	EKİM	431
	KASIM	606
	ARALIK	719



Şekil 4: Bin yöntemi aylık ve yıllık ısıtma ve soğutma yükü (W)

TS 825 yöntemi hesap sonuçları;

Örnek bina modelinin, TS 825 yöntemi kullanılarak hesap edilen aylık ve yıllık ısıtma yükleri **Şekil 5'de** verilmiştir. TS 825 diğer iki yöntemden (derece-gün, bin yöntemi) farklı olarak derece-gün bölgelerinin her biri için aylık ortalama iklimsel verileri (dış ortam sıcaklığı, güneş ışınım şiddeti) kullanmaktadır. Aylık ortalama verilerin kullanımı ısıtma yükü hesaplamalarındaki güvenilirliği azaltmaktadır. **Çizelge 7'de** Bursa ilinin yer aldığı ikinci derece-gün bölgesine ait TS 825 hesap yönteminde kullanılan iklimsel veriler verilmiştir.



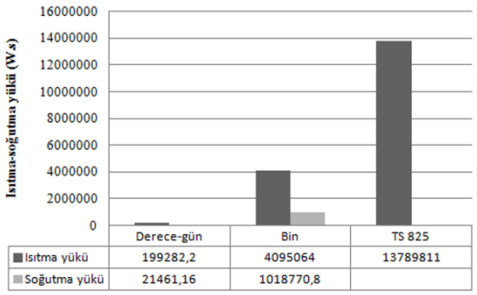
Şekil 5: TS 825 yöntemi aylık ve yıllık ısıtma yükü (W)

Çizelge 7: Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı hesabında Bursa iline ait iklimsel veriler

AYLAR	İç ortam sıcaklığı-t_{io} (^{0}C)	Dış ortam sıcaklığı-t_{do} (^{0}C)	Ortalama aylık güneş ışınım şiddeti değeri-I_t (W/m^2) Kuzey	Güney	Doğu	Batı
OCAK	19	3,3	26	72	43	43
ŞUBAT		4,5	37	84	57	57
MART		7,2	52	95	77	77
NİSAN		12,6	66	83	90	90
MAYIS		17,8	79	92	114	114
HAZİRAN		21,9	83	95	122	122
TEMMUZ		24,4	81	93	118	118
AĞUSTOS		23,8	73	93	106	106
EYLÜL		19,6	57	89	81	81
EKİM		14,1	40	82	59	59
KASIM		9,1	27	67	41	41
ARALIK		4,9	22	64	37	37

5. DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada ısıtma-soğutma yükü hesabında kullanılan statik yöntemlerin aynı örnek bina modeli üzerinde uygulanmasıyla aralarındaki farklılıklar ortaya konulmuş ve değerlendirilmiştir. Statik yöntemler kullanılarak ısıtma-soğutma yükleri aylık ve yıllık olarak hesaplanmıştır. **Şekil 6'da** statik yöntemler kullanılarak hesaplanan ısıtma-soğutma yükleri görülmektedir. **Şekil 6** incelendiğinde derece-gün yöntemi ile elde edilen ısıtma yüklerinin Bin ve TS 825 yöntemine göre elde edilen ısıtma yüklerinden çok daha az olduğu, soğutma yüklerinin ise BİN yöntemi ile elde edilen soğutma yüküne oranla oldukça az olduğu görülmektedir. Yöntem sonuçlarındaki bu farklılıkların sebebi derece-gün yönteminin katsayı olarak günlük dış ortam sıcaklık ortalamalarının denge noktası sıcaklığından farklarının toplamının, BİN yönteminde ise her saat aralığındaki Bin değerleri toplamı ve dış ortam sıcaklığı ve denge noktası sıcaklığı arasındaki farkın dikkate alınmasıdır.



Şekil 6: Örnek bina modelinin yıllık ısıtma ve soğutma yükleri

TS 825 hesap yönteminde ise soğutma yükü hesabı yapılmamakta, derece-gün ve Bin yönteminde dikkate alınmayan solar kazançlar ve doğal havalandırma ve sızıntılar vasıtasıyla oluşan ısı kayıpları aylık ortalama değerler üzerinden hesaplanmaktadır. TS 825 yöntemi diğer statik yöntemlere oranla daha çok değişkenle hesap yapmasına rağmen tüm derece-gün bölgelerinin her birindeki tüm iller için aynı aylık ortalama iklimsel verileri kullanmasından kaynaklı olarak ısıtma yükü hesaplamalarında gerçeğe yakın sonuçlar vermemektedir.

6. SONUÇLAR

Binaların ısıtma-soğutma yük hesabında kullanılacak yöntemin doğru seçilmesi sonuçların güvenilirliği açısından büyük öneme sahiptir. Her yöntemin kendine göre kabulleri, farklı değişken sayıları ve hesap yöntemleri bulunmaktadır. Bundan kaynaklı olarak kullanıcının her yöntemin avantajları ve dezavantajlarını bilmesi ve inceleyeceği binanın ısıtma-soğutma yükünü en doğru tahmin edecek yönteme karar verebilmesi büyük önem taşımaktadır.
Bu çalışmada örnek bir bina modelinin ısıtma ve soğutma yükleri Bursa iline ait iklimsel veriler kullanılarak üç farklı statik hesap yöntemi ile hesaplanmıştır. Hesap sonuçları incelendiğinde en yüksek ısıtma yükünün TS 825 yöntemi ile, en düşük ısıtma yükünün ise derece-gün yöntemiyle elde edildiği, bin yöntemiyle hesap edilen soğutma yükünün ise derece-gün yöntemi ile elde edilen soğutma yüküne gore oldukça fazla olduğu gözlemlenmiştir.
Derece-gün yöntemi ısıtma-soğutma sistemlerinin tüm yıl boyunca aynı oranda sürekli olarak çalıştığı, iç ortam sıcaklığı, içsel kazançların ve bina kullanım şeklinin yıl boyunca sabit olduğu

durumlarda yıllık ısıtma-soğutma yükünün basit bina modelleri için hesaplanmasında kullanılabilir. Ancak bu yöntemde içsel ve güneş kazançları ihmal edildiğinden kompleks bina modelleri için güvenilir sonuçlar elde etmek güçtür. Derece-gün yönteminin kompleks bina modellerinde kullanılamaması, ancak sabit koşullarda kabul edilebilir sonuçlar vermesinden dolayı kompleks bina modellerinde, değişken ısıtma, soğutma ve havalandırma sistem verimlerini, denge noktası sıcaklığını ve bina kullanım şeklini dikkate alan Bin yöntemi kullanılabilir. Bin yönteminde binanın kullanım saatlerine göre hesaplamalar yapılabilmekte, değişken dış ortam koşullarındaki ısıtma-soğutma yükleri değerlendirilebilmektedir. Bu yöntem, günlük ortalama dış ortam sıcaklığından ziyade saatlik dış ortam sıcaklık değerlerine dayandığından derece-gün yönteminden daha hassas sonuçlar verir. Bin yönteminde binanın iç ve dış ısı kazançları ısıtma-soğutma yükü hesaplarına doğrudan girmemekte olup, bu kazançlar binanın denge noktası sıcaklığını etkilemektedir. Kazançların artmasıyla birlikte denge noktası sıcaklıkları da düşecektir. Bundan kaynaklı olarak farklı denge noktası sıcaklıkları içinde hesaplamalar yapılması faydalı olacaktır. TS 825 yöntemi derece-gün bölgelerinin her biri için ısıtma yükü hesabında aynı aylık ortalama dış ortam sıcaklığı ve güneş ışınımı şiddeti değerlerini kullanmaktır. Gerçeğe yakın sonuçlar elde edebilmek için bölgesel veriler yerine yerel veriler kullanılması gereklidir. Ayrıca TS 825'te bina modelinin sadece aylık ve yıllık ısıtma yükü hesaplanabilmekte soğutma yükü hakkında herhangi bir veri elde edilememektedir.

Sonuç olarak, statik yöntemler arasında derece-gün yöntemi sadece sabit koşullarda, basit bina modellerinde yıllık ortalama değerler verdiğinden, TS 825 yöntemi ise her derece-gün bölgesi için aylık ortalama değerler kullanması ve sadece ısıtma yükü hesabını dikkate almasından ötürü BİN yöntemi, binanın içsel kazançları analiz edilip doğru denge noktası sıcaklığında statik yöntemler arasında gerçeğe en yakın ve kabul edilebilir sonuçlar verir.

KAYNAKLAR

1. A. Sözen., E. Arçaklıoğlu, M. Özkaymak, "Turkey's net energy consumption, *Appl. Energy*, **81**, (2005), pp: 209-221. "

2. S.Lang, "Progress in energy-efficiency standards for residential buildings in China, *Energy Building*, **36**(12), (2005), pp:1191–1196. "

3. Y.Yasar, S.M. Kalfa, "The effects of window alternatives on energy efficiency and building economy in high-Rise residential buildings in moderate to humid climates, *Energy Convers. and Management*, **64**, (2012), pp: 170-181. "

4. S.Maçka, Y.Yasar, "The effects of window alternatives on energy efficiency and building economy in high-rise residential buildings in cold climates, *Gazi University J. of Sci.*, **24**, (2011), pp: 926-944."

5. A. Buonomano, A. Palombo,"Building energy performance analysis by an in-house developed dynamic simulation code: An investigation for different case studies, *Appl. Energy*, **113,** (2014), pp: 788–807."

6. Y.Schwartz, R. Raslan, "Variations in results of building energy simulation tools, and their impact on BREEAM and LEED ratings: A case study, *Energy and Buildings*, **62,** (2013), pp: 350–359."

7. S.A.M,Said, M.A.Habib, M.O.Iqbal, "Database for building energy prediction in Saudi Arabia', *Energy Convers. and Management*, **44**,(2003), pp: 191-201."

8. A. Bolatürk, "Optimum insulation thicknesses for building walls with respect to cooling and heating degree-hours in the warmest zone of Turkey", *Building and Environment*, **43**, (2008), pp:1055-1064."

9. M.J.OrtizBeviá, G.Sánchez-López, F.J. Alvarez-Garcìa, A.RuizdeElvira, "Evolution of heating and cooling degree-days in Spain: Trends and interannual variability, *Global and Planetary Change*, **92**, (2012), pp: 236–247. "

10. Ö.A. Dombaycı,"Degree-days maps of Turkey for various base temperature", *Energy*,**34**, (2009),pp:1807-1812."

11. K.T. Papakostas, "Bin weather data of Athens, Greece, *Renew. Energy*, **17**,(1999), pp: 265–75 "

12. Z.Jin, W.Yezheng, Y.Gang,"A stochastic method to generate bin weather data in Nanjing, China, *Energy Convers. and Management*, **47**, (2006), pp: 1843–1850."

13. Z. Peng, J.Zhou, G. Zhang, W. Guoqiang, W.Yezheng, "Generation of ambient temperature bin data of 26 cities in China, *Energy Convers. and Management*, **50**, (2009), pp: 543–553."

14. H. Bulut,O. Büyükalaca, T. Yılmaz, "Bin weather data for Turkey, *Appl. Energy*, **70**, (2001), pp: 135–155."

15. Ö.Özyurt,K. Bakırcı, S. Erdoğan, M. Yılmaz, "Bin weather data for the provinces of the Eastern Anatolia in Turkey, *Renew. Energy*, **34**, (2009), pp: 1319–1332. "

16. M. Özel, K.Pıhtılı, "Isıtma ve soğutma derece-gün değerlerini kullanarak optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi' *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, **26**,(2008), pp: 191-197. "

17. M.Gölcü, Ö.A. Dombaycı, S. Abalı, "Denizli için Optimum Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkisi ve Sonuçları, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi,* **21**,(2006),pp: 639-644"

18. A.Bolatürk, "Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey, *Appl. Thermal Engineering*, **26**, (2006), pp:1301-1309. "

19. ASHRAE, Fundementals, Chapter 28-Energy Estimation Methods, Atlanta, 2010.

20. F.C. McQiston J.D. Parker,J. Spitler, "Heating,Ventilating, and Air Conditioning Analysis and Design, Six Edition, John Wiley Press, USA, 2005.

21. TS 825 'Binalarda ısı yalıtım kuralları',Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2008.

FARKLI CEPHELERDE UYGULANAN ÇİFT KABUK CEPHE SİSTEMLERİNİN YAPI ISIL PERFORMANSINA ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Y.Doç.Dr. Neslihan Türkmenoğlu Bayraktar[a]
Kocaeli Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi
Anıtpark Yerleşkesi, İzmit, Kocaeli, 41300

ÖZET

Çift kabuk cephe sistemleri saydam yüzeylere sahip iki farklı duvar katmanı ve aralarında yer alan boşluktan oluşmaktadır. Cephe sistemi en sıcak dönemde ısı kazanımlarını, en az sıcak dönemde ısı kayıplarını azaltmak üzere dış iklim koşullarına karşı tampon bölge işlevini görmektedir. Özellikle ofis yapılarında tercih edilen çift cephe sistemleri olumsuz iklimsel etkenlerin yanı sıra, gürültü problemlerine karşı da avantaj sağlamaktadır. Çift cephe sistemi yurtdışında yaygın olarak uygulanmakla birlikte sistemin iç ortam iklimsel performansa etkilerinin birçok parametreye bağlı olarak oluşması nedeniyle bu etkilerin ortaya konulmasına yönelik çalışmaların artması gerekmektedir. Bu bağlamda çift cepheli ofis binası örneği oluşturularak, 'Designbuilder' ve 'Energyplus' programları ile modellenmiş ve yapının ısıl performansını belirlemek üzere enerji analizleri gerçekleştirilmiştir.
Bildiride ılımlı-nemli iklim koşullarına sahip Kocaeli' de yer aldığı varsayılan 3 katlı ofis binasının, farklı yönlerdeki cephelerinde çift cephe kurgulanması ile oluşturulan alternatifler için, ara katta, referans zonlarda, tüm açıklıkların kapalı olduğu kabulü ile, en az sıcak ve en sıcak dönemler için referans günlerde elde edilen saatlik iç ortam ve yüzey sıcaklıkları karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çift Cephe, Energyplus/Designbuilder,Isıl Analiz

ABSTRACT

Double facade systems are formed by two different walls with glass surfaces and air space between them. Facade system serves as buffer zone to the outside climatic conditions in order to reduce heat losses in coldest period and heat gains in hottest periods. Double facade systems preferred to be used especially in office buildings, provide advantage to not only climatic problems but also to acoustical problems. Although it is widely applied in foreign, studies on investigation of the effects of double facade systems to interior climatic factors, the amount of studies have to increase as it is related to many parameters. In this context, office building with double facade is created as casestudy. It is modelled by 'Designbuilder' and 'Energyplus' programmes and performed energy analysis in order to determine the thermal behaviour of the building with double facade.
In the study, hourly interior surface and air temperatures obtained for the reference day of coldest and hottest period of the 3 storey office building located in Kocaeli, for the alternatives of location of double facade system on different orientations are compared by assuming that all openings are closed.

Key words: Double Facade, Energyplus/Designbuilder, Thermal Analysis

[a] e-posta adresi: nturkmenoglu@kocaeli.edu.tr

1.GİRİŞ

Dış ortam iklimsel etmenlerin, bina cephesi; yönleniş, konum, malzeme katmanlaşmasına bağlı olarak iç ortamda oluşturduğu iç ısıl koşullar kullanıcı konforu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yapı kabuğunda bahsedilen parametrelere bağlı olarak gerçekleşen ısı transferleri iklimsel koşullara bağlı olarak iç yüzey ve ortam sıcaklıklarını oluşturmaktadır. İç ortam ve yüzey sıcaklıkları arasındaki fark belli değerler arasında olduğu zaman ısıl konfordan bahsetmek mümkün olabilir. Tampon bir alan yaratmak suretiyle iç yüzey ve ortam sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkının sınır değerler içerisinde korunumuna katkıda bulunan çift kabuk cephe sistemleri ülkemizde henüz yaygınlaşmaya başlamıştır. Bununla birlikte, birçok ülkede, 1990 yıllardan sonra özellikle yüksek katlı, geniş cam cepheli ofis yapılarının, cam yüzeyler nedeniyle fazla olan ısıtma ve soğutma yüklerini azaltmak üzere sıklıkla uygulandığı görülmektedir [**1**].

Çift kabuk cephe sistemler ısıl konfora direk etki etmekle birlikte görsel ve akustik konforun sağlanmasına da katkıda bulunmaktadır. Sistem, kalınlıkları, adetleri, optik özellikleri farklılaşabilen cam yüzeylerin oluşturduğu dış kabuk; farklı kalınlık, malzeme özelliklerine sahip opak ve cam yüzeylerin beraber kullanıldığı iç kabuk ve bu iç ve dış iki katman arasında boyutları değişim gösteren boş hacimden oluşmaktadır [**2,1,3,4**]. Çift cephe sistemleri tüm katlar arasında süreklilik gösterebileceği gibi her kat arasında yer alan döşemeler ile düşeyde kesintili olarak, ya da düşeyde döşemelerle kesintili ancak her katta cephede belli aralıklarla oluşturulmuş zeminden yapının en üst noktasına kadar süreklilik gösteren şaft hacmi ile bağlantılı olarak tasarlanabilmektedirler. Sırasıyla; çok katlı çift kabuk cephe; koridor tipi çift kabuk cephe; kutu-şaft tipi çift kabuk cephe; kutu tipi çift kabuk cephe olarak sınıflandırılabilen çift cephe sistemleri, iki kabuk arasında, iç kabukta ya da dış kabukta yer alan gölgeleme araçları, ya da bazı örneklerde görülebileceği üzere bitkiler ile en sıcak dönemde güneşin istenmeyen ısıl, görsel etkilerine karşı da korunum sağlamalıdır [**5,6,7**].

Çift cephe sistemler yapım tekniği dışında havalandırma tipine göre de sınıflandırılabilir. Dış kabuk ve iç kabuk arası boşluk doğal havalandırmayla (doğal taşınım ve rüzgar etkisi), mekanik ya da bu sistemlerin birlikte çalıştığı hibrid formda havalandırılmaktadır. Mekanik havalandırmanın kullanıldığı cepheler binanın ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sisteminin bir parçası olarak işlev görmektedir. Mekanik sistemde ara boşlukta yer alan hava kütlesi gerektiğinde kullanılmak üzere ısıtılmakta, daha sonra sisteme katılmaktadır, ya da içerideki havanın dışarı atılması için kullanılmaktadır. Doğal havalandırma ise doğal taşınım, rüzgar basınç farkları ya da her ikisinin bileşik etkisi ile dış ve iç kabukta düzenlenmiş açıklıklardan kontrollü olarak gerçekleştirilmektedir [**5, 7**].

Çift kabuk cephe sistemlere ait ısıl performansın, yapı konum, form, yönleniş; iç ve dış kabuk katmanlaşma, malzeme ve iç dış kabuk arası mesafe; ısıtma, soğutma dönemindeki iklimsel veriler ve buna yönelik havalandırma, gölgeleme seçenekleri; gün içerisindeki zaman dilimi gibi parametrelere bağlı olarak farklılık göstermesi beklenmektedir[**4**]. Sistemin çalışma prensibini anlamak üzere gerçekleştirilen çalışmalar oldukça zahmetlidir. Çünkü iki cephe arasında gölgeleme aracının etkisi; açıklık, boyut, malzeme özelliklerine bağlı olarak fazla sayıda ısı transferi ve bunlar arasında karmaşık etkileşimler mevcuttur. Çift kabuk cephe dış katmanından güneş ışınımı yutulmakta, katmanlar arasında uzun-dalga ışınımı değişimi gerçekleşmekte, katmanlar ile boşluk havası arasında taşınım yolu ile, yine katmanlarda iletim yolu ile ısı transferleri meydana gelmektedir.

Literatürde çift kabuk cephe sistemlerin performans ve boyut optimizasyonlarının değerlendirilmesine yönelik deneysel[**7,4,8**], sayısal [**9**], yerinde ölçüm[**10**], CFD [**11,12,13,14**]. ve enerji analiz programlarıyla gerçekleştirilen benzetişime dayalı araştırmaların yer aldığı

görülmektedir. Bununla birlikte sistemin farklı tasarım parametreleri ve dış koşullar etkisinde çalışma prensiplerinin anlaşılarak, etkin biçimde uygulanması ve işlevini sürdürmesi için gerekli genel kabullere altlık olacak bulguların ve buna yönelik çalışmaların artması gerekmektedir.
Bu bağlamda gerçekleştirilen çalışmada benzetişim yolu ile ılıman-nemli iklime sahip Kocaeli'de ele alınan örnek ofis binasının cephesine koridor tipli çift kabuk cephe sistemi uygulandığı kabul edilmiştir. Çalışmada ele alınan örnekte aktif ısıtma ve soğutma sistemleri tanımlanmamıştır. Cephelerde yer alan tüm açıklıkların kapalı olduğu kabul edilerek doğal havalandırma etkileri ihmal edilmiştir. Analiz aşamaları için 'Designbuilder' programında yapı modellenmiş ve 'Energyplus' programına aktarılmıştır. Energyplus enerji analizleri ve ısıl yük simülasyonlarının yapılmasına imkan veren bir programdır. Isı dengesi hesap metodunu temel almakta; yüzey ısı dengesi, hava ısı dengesi, bina ek sistemleri modülleri ile çalışmaktadır. Çift kabuk cephe sisteminin, yapının farklı yönlerinde kurgulandığı alternatif durumlar için gerçekleştirilen analizler yoluyla, kış dönemi dizayn günü olarak ele alınan 21 Ocak, yaz dönemi dizayn günü olarak ele alınan 21 Temmuz tarihleri için saatlik, dış ortam, referans zonlar ve iç boşlukta oluşan iç ortam ve yüzey sıcaklık değişimlerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Çalışmada çift cephe sisteminin yer almadığı alternatif ile diğer alternatiflerin iç ortamda yarattığı ısıl koşullar karşılaştırılarak farklı yönlerde çift cephe kurgusunun etkileri değerlendirilmiştir.

2. BİNA KABUĞUNUN ISIL PERFORMANSA ETKİSİ

Bina kabuğu dış ortam ile iç ortamı birbirinden ayıran, fiziksel çevre etkenlerinin yarattığı koşullardan gerek korunum gerek fayda sağlamak üzere tasarlanan yapı elemanlarıdır. İç ortam iklimsel koşullar bina kabuğunda gerçekleşen ısı transferleri ile gerçekleşmektedir. İç ve dış ortam sıcaklık farklılıklarının tetiklediği iletim, taşınım ve ışınım yolu ile gerçekleşen ısı transferleri iç ortam ve yüzey sıcaklıklarının oluşumunda etkili olmaktadır. İç yüzey sıcaklıkları ve ortam sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkının + 3, -3 °C sınır değerlerini aşmaması iç mekanda ısıl konfor sağlamaktadır. Çift cephe sistemlerde dış yüzeye etki eden güneş ışınımının bir kısmı, dış kabuktan içeri geçmekte, bir kısmı geri yansımakta bir kısmı da yutulmaktadır. Çift cephe arasındaki boşluğa nüfus eden güneş ışınımları, boşlukta doğal taşınım etkisi ile gerçekleşen iç hava hareketi, yüzeyler arası ışınım yolu ile ısı transferi gibi farklı mekanizmalarının karmaşıklaştırdığı süreçten sonra iç kabuk, iç yüzey sıcaklıklarını ve ortam sıcaklıklarını oluşturmaktadır.

3. ÇİFT CEPHE SİSTEMLERİN İÇ ISIL KOŞULLARA ETKİSİNİ ORTAYA KOYMAK ÜZERE GERÇEKLEŞTİRİLEN ÇALIŞMADA KULLANILAN ÖRNEK YAPI

3.1. Kocaeli İklimsel Veriler

Kocaeli'de en az sıcak dönem Aralık, Ocak, Şubat ve Mart ayları arasında gerçekleşmektedir. Bu aylara ait ortalama sıcaklık değeri 7.4 ^{O}C dır. 3.4 ^{O}C'ye kadar düşen ortalama en düşük sıcaklık değerleri Ocak ve Şubat aylarında elde edilmektedir. Ölçülen minimum sıcaklık değeri ise -9.7 ^{O}C'dır. En soğuk aylarda hâkim rüzgâr güneydoğu, batı-kuzeybatı yönlerinden etkili olmaktadır.
En sıcak dönem Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarını kapsamaktadır. Bu aylara ait ortalama sıcaklık değeri 22.3 ^{O}C dır. Ortalama en yüksek sıcaklık 29.4 ^{O}C, maksimum sıcaklık ise 44 ^{O}C değerini almaktadır. Bahar ve sonbahar aylarında ortalama sıcaklıkların ise 13-15 ^{O}C

arasında değiştiği görülmektedir. En sıcak aylarda hâkim rüzgâr, güneydoğu yönünden etki etmektedir.

3.2. Örnek Binanın Tanıtılması

Kocaeli'de olduğu varsayılan 3 katlı bir ofis binası için gerçekleştirilen çalışma kapsamında; öncelikle çift cepheli kat planı seçenekleri türetilmiştir. Yaz dönemi ihmal edilerek kış döneminde farklı cephelerde çift cephe kurgulanmasına yönelik alternatiflerin sağladığı iç ortam sıcaklıkları 'Designbuilder' ve 'Energyplus' programları vasıtasıyla belirlenmiş ve ofis binasının hiçbir yönünde çift cephe kullanılmadığı alternatif durumda oluşan iç ortam ve iç yüzey sıcaklıkları ile karşılaştırılmıştır. Çift cephe sisteminin yer almadığı referans bina, dört farklı yönde yer alan kapalı mekanlar dışında açık mimari düzene sahip, iki çekirdekli, üç katlı bir ofis binası olarak tasarlanmıştır. Kat yükseklikleri 4 m olarak kabul edilmiştir. Referans binada saydamlık oranları kuzey ve güney cephelerinde 0.26, doğu ve batı cephelerinde ise 0.30'dur (**Çizelge 1**).

Çizelge 1: Tüm yönlerde yer alan cephelerde iç ve dış kabuk saydamlık oranları

Çift cephe katmanı	Yönler	Kuzey	Güney	Doğu	Batı
Dış kabuk saydamlık oranları	Çift cephe yok	0.26	0.26	0.3	0.3
	Çift cephe kuzeyde	0.72	0.26	0.29	0.29
	Çift cephe güneyde	0.26	0.72	0.29	0.29
	Çift cephe doğuda	0.24	0.24	0.51	0.3
	Çift cephe batıda	0.24	0.24	0.3	0.51
	Çift cephe 4 yönde	0.72	0.72	0.73	0.73
İç kabuk saydamlık oranları	Çift cephe yok	-	-	-	-
	Çift cephe kuzeyde	0.26	-	-	-
	Çift cephe güneyde	-	0.26	-	-
	Çift cephe doğuda	-	-	0.32	-
	Çift cephe batıda	-	-	-	0.32
	Çift cephe 4 yönde	0.25	0.25	0.29	0.29

Referans bina dışında türetilen plan tiplerinin her birinde farklı yönlerde çift cephe kurgulanmıştır. Alternatifler sırasıyla aşağıdaki gibidir. Şekilde türetilen plan tipleri, cepheleri görülmektedir (**Şekil 1**)

a-Çift cephe yok-referans
b-Çift cephe dört yönde
c-Çift cephe güneyde
d-Çift cephe kuzeyde
e-Çift cephe doğuda
f-Çift cephe batıda



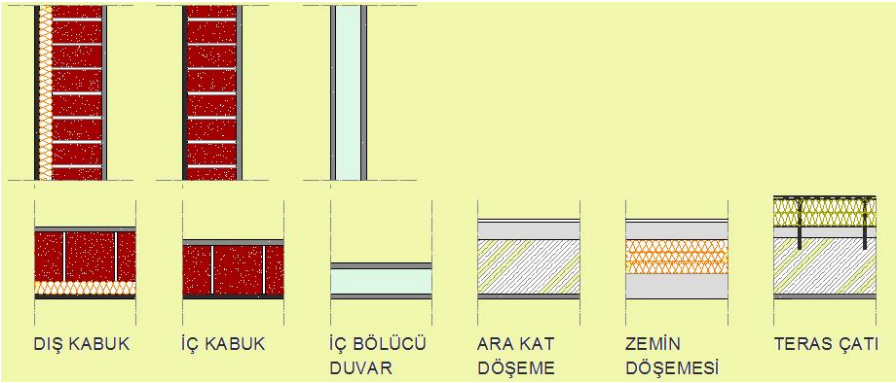
Şekil 1: Alternatifler; a-Çift cephe yok, b-Çift cephe her yönde, c-Çift Cephe güneyde, d-Çift cephe kuzeyde, e-Çift cephe batıda, f-Çift cephe doğuda

4. BENZETİŞİM SÜRECİNDE KULLANILAN VERİLER

Kocaeli ili'ne ait iklimsel veriler, ofis hacmi kullanım koşullarına yönelik veriler 'değişmez veriler', cephe sistemi ve bileşenler 'değişken veriler' olarak ele alınmıştır. Çalışmada, çift kabuk cephe seçeneklerinin, kış döneminde iç ortamda oluşturduğu iç yüzey ve ortam sıcaklıklarına yönelik performansı, aktif ısıtma, soğutma sistemi, kullanıcı verileri, aydınlatma sistemleri, elektrikli ofis araçları tanımlanmadan ve çift cephe sistemi açıklıklarının kapalı olduğu varsayımından yola çıkılarak analiz edilmiştir. 21 Ocak ve 21 Temmuz dizayn günleri için "Kocaeli" ili dış ortam koşullarına ilişkin veriler (dış ortam sıcaklığı, rüzgar yönü ve hızı ve güneş ışınımı değerleri), 'Energyplus', IWEC iklim dosyalarından elde edilmiştir[**15**].

4.1. Cephelerde Kullanılan Malzemeler

Çift cephe dış kabuğu ısı yalıtımlı tuğla duvar olarak ele alınmıştır. İç duvarda ısı yalıtımsız tuğla duvar yer aldığı kabul edilmiştir. **Şekil 2**'de yapı elemanlarına ait katmanlar görülmektedir. **Çizelge 2ve 3**'de katmanlara ait özellikler tanıtılmıştır.



Şekil2: Yapı elemanlarına ait katmanlar

Çizelge 2: *Yapı kabuğunda kullanılan malzemeler*

Yapı Elemanı	Katmanlar	Kalınlık m	İletkenlik W/m-K	Yoğunluk Kg/m^3	Özgül Isı J/kg-K	Direnç m^2K/W
Dış duvar	Çimento sıva	0.02	-	-	-	0.03
	XPS-extruded Polystrene	0.05	0.034	35	1400	1.47
	Tuğla	0.19	0.84	1700	800	0.23
	Alçı sıva	0.02	-	-	-	0.06
Çift cephe iç Duvar	Çimento sıva	0.02	-	-	-	0.03
	Tuğla	0.19	0.84	1700	800	0.23
	Alçı sıva	0.02	-	-	-	0.06
Çatı	Mineral kaplı su yalıtımı	0.01	0.7	2100	1000	0.01
	XPS-extruded Polystrene	0.05	0.034	35	1400	1.47
	Şap	0.07	0.41	1200	840	0.17
	Betonarme döşeme	0.21	1.13	2000	1000	0.19
	Alçı sıva	0.02	-	-	-	0.06
Ara kat döşeme	linolyum	0.01	-	-	-	0.01
	Şap	0.07	0.41	1200	840	0.17
	Betonarme döşeme	0.21	1.13	2000	1000	0.19
	Alçı sıva	0.02	-	-	-	0.06
Zemine oturan döşeme	linolyum	0.01	-	-	-	0.01
	Şap	0.07	0.41	1200	840	0.17
	XPS-extruded Polystrene	0.05	0.034	35	1400	1.47
	Grobeton	0.10	1.4	2100	840	0.07

Çizelge 3: *Saydam yüzeylerin özellikleri*

İnce yapı elemanları	Katmanlar	Kalınlık	İletkenlik	Normal geliş açısında geçirgenlik	Ön yüzey yansıtıcılık	Arka yüzey yansıtıcılık
		cm	W/m-K			
Dış cephe saydam yüzey	Cam	0.3	0.9	0.74	0.09	0.1
	Hava boşluğu	0.6	-	-	-	-
	Cam	0.3	0.9	0.837	0.075	0.075
Çift cephe iç Duvar	Cam	0.3	0.9	0.837	0.075	0.075
	Hava boşluğu	1.3	-	-	-	-
	Cam	0.3	0.9	0.837	0.075	0.075
	Hava boşluğu	1.3	-	-	-	-
	Cam	0.3	0.9	0.837	0.075	0.075

4.2. Modelde Ele Alınan Isıl Zonlar

'Designbuilder' ve 'Energyplus' programlarında ısıl analizleri gerçekleştirmek üzere bina ayrı ısıl zonlar olarak tanımlanmıştır. Fiziksel çevre etkenlerinin yapıyı farklı yönlerden, farklı koşullarda etkilemesi ve ofis yapısının büyüklüğü gibi sebeplerle yapı içinde 4 farklı yönde referans zonlar belirlenerek, çift cephe etkileri, bu zonlara ait dış, iç yüzey ve iç ortam sıcaklık değişimlerine bağlı olarak değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında 1. katta yer alan zonlardaki ısıl değişimler karşılaştırılmıştır. **Şekil 3**'te binanın birinci katında ısıl zonların ele alınışı görülmektedir.

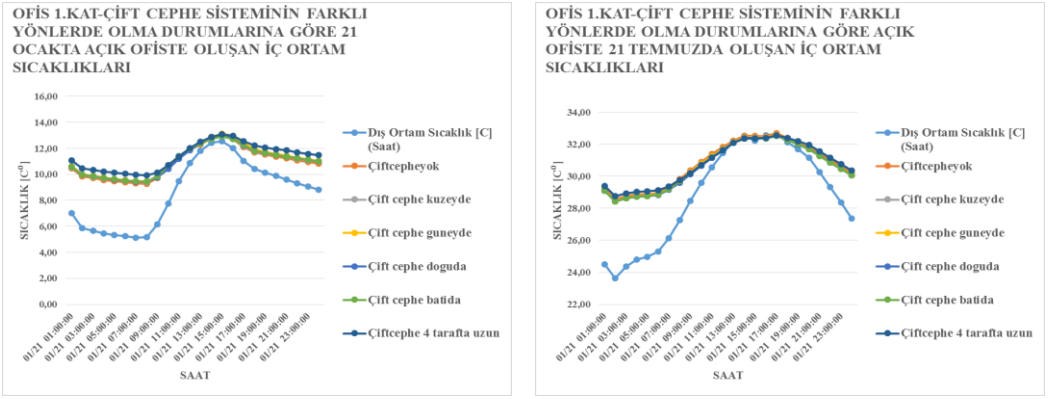


Şekil 3: a.Alternatif-Çift cephe yok, b-Çift cephe kuzeyde c- çift cephe güneyde , d-Çift cephe batıda e-Çift cephe batıda f-Çift cephe doğuda g-Çift cephe dört yönde

5. BULGULAR

5.1. Yapının Farklı Yönlerinde Çift Cephe Olması Durumlarında 21 Ocak ve 21 Temmuz Dizayn Günlerinde Referans Zonlarda Oluşan İç Ortam Sıcaklıklarının Karşılaştırılması

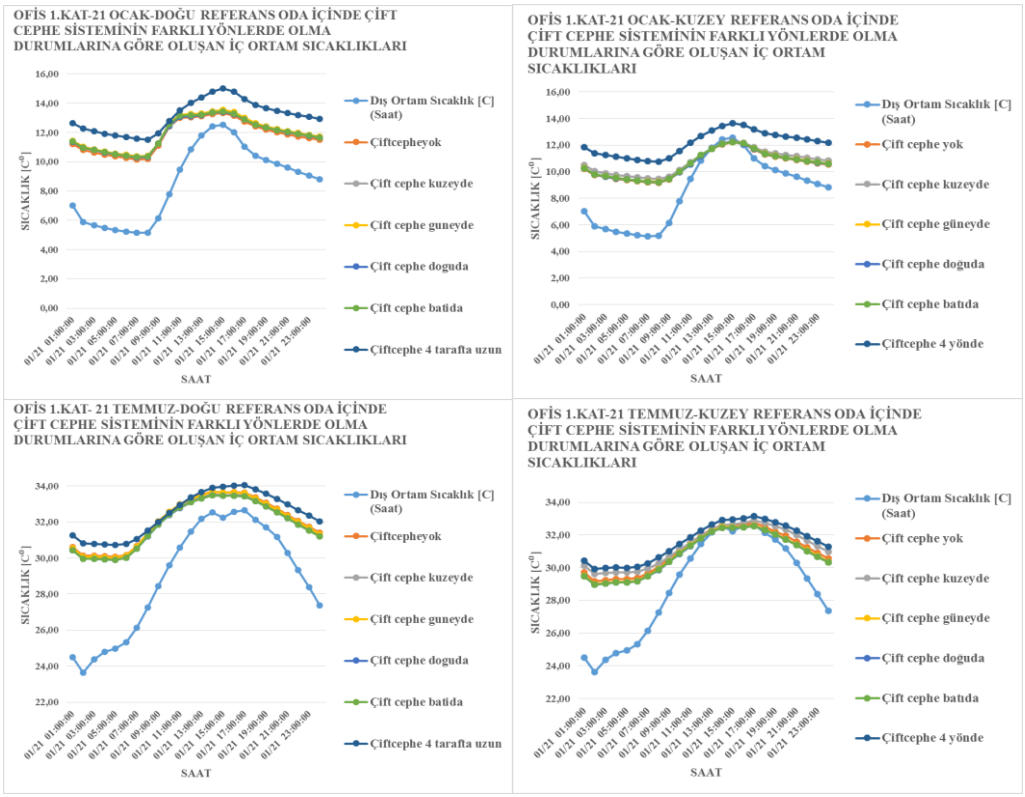
Çift cephe sisteminin farklı yönlerde kurgulandığı plan tipleri 'Designbuilder' programında modellenmiştir. 'Energyplus' programıyla yapının birinci katında, 21 Ocak tarihinde referans zonlardaki iç ortam sıcaklık değerleri elde edilmiştir. **Şekil 4**'te açık ofis alanı olarak belirlenen ve diğer zonlara göre daha geniş bir alanı kaplayan açık ofiste elde edilen sıcaklıklar görülmektedir. 21 Ocak, 01:00-08:00 saatleri ortalamalarına göre, en yüksek sıcaklıklar dört yönde çift cephe tasarlandığı alternatifte oluşmuştur. 09:00-16:00 saatlerinde en yüksek sıcaklık ortalaması dört yönde çift cephe alternatifiyle elde edilmesine rağmen, diğer alternatiflerin de yakın değerlere ulaştığı görülmüştür. Bütün alternatifler yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru sıralandığında günlük ortalamaya göre en yüksek sıcaklıklar dört yönde çift cephe alternatifinden sonra güney, batı, kuzey ve doğuda çift cephe olduğu alternatiflerle sağlanmıştır.
21 Temmuz tarihinde elde edilen sonuçlara göre tüm zaman aralıklarında sıcaklık değişimlerinin 28 ve 32 °C arasında oluştuğu ve alternatiflerin birbirine yakın değerler aldığı görülmüştür.



Şekil 4: Çift cephe sisteminin farklı yönlerde olma durumlarında açık ofiste 21 Ocak ve 21 Temmuz dizayn günlerinde elde edilen sıcaklıklar

Şekil 5'te ofisin doğusunda yer alan mekanda 21 Ocak, 01:00-08:00 saatleri ortalamasına göre, en yüksek sıcaklıkların güneyde çift cephe tasarlandığı durumda oluştuğu görülmüştür. 09:00-16:00 ve 17:00-24:00 zaman dilimlerindeki ortalamalara göre en yüksek sıcaklık değerleri güneyde çift cephe yer aldığı durumda sağlanmıştır. Çift cephenin batı, doğu ve kuzey cephelerinde yer aldığı alternatif durumlarda elde edilen sıcaklık değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. En az sıcaklıklar dört yönde çift cephenin yer aldığı durumda oluşmuştur.
Kuzeyde yer alan referans mekanda farklı çift cephe kurguları ile elde edilen sıcaklıklara göre en yüksek değerler dört yönde çift cephe yer aldığı durumda sağlanmıştır. En düşük değerler çift cephe doğuda kurgulandığında elde edilmiştir.
21 Temmuz gününde, 01:00-08:00, 09:00-16:00 ve 17:00-24:00 zaman aralıkları için elde edilen sıcaklıkların ortalamalarına göre, dört yönde çift cepheye sahip alternatif doğuda yer alan zonda 30 ve 33.0 °C aralığında en yüksek sıcaklıkların elde edilmesine neden olmuştur. Bu zonda tüm zaman aralıklarında en düşük sıcaklık değerleri doğu ve batıda çift cephe olduğu durumlarda elde edilmiştir.

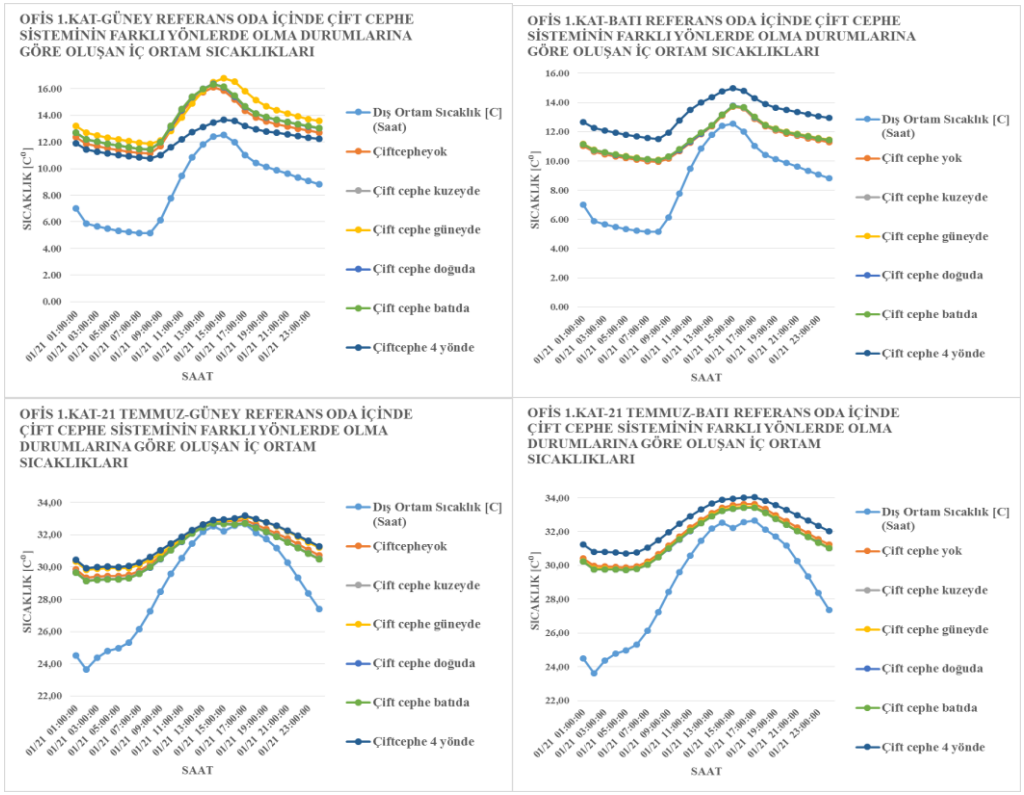
Kuzeyde yer alan referans zonda ise tüm zaman aralıklarında yine en düşük sıcaklıkların doğu ve batıda çift cephe sisteminin yer aldığı alternatiflerle elde edildiği görülmektedir. Bu zonda en yüksek sıcaklıklar dört yönde çift cephe yer alan alternatifle gerçekleşmiştir.



Şekil 5: Çift cephe sisteminin farklı yönlerde olma durumlarında doğu ve kuzey yönlerindeki referans zonlarda 21 Ocak ve 21 Temmuz dizayn günlerinde elde edilen sıcaklıklar

21 Ocakta güneyde yer alan referans mekanda farklı çift cephe kurguları ile elde edilen sıcaklıklara göre en yüksek değerler güneyde çift cephe yer aldığı durumda sağlanmıştır. En düşük değerler 'çift cephe dört yönde' alternatifi ile elde edilmiştir. Batıda yer alan referans mekanda en yüksek sıcaklıklar dört yönde çift cephe tasarlandığı durumda oluşmuştur. En düşük değerler çift cephenin doğuda yer aldığı alternatif ile elde edilmiştir

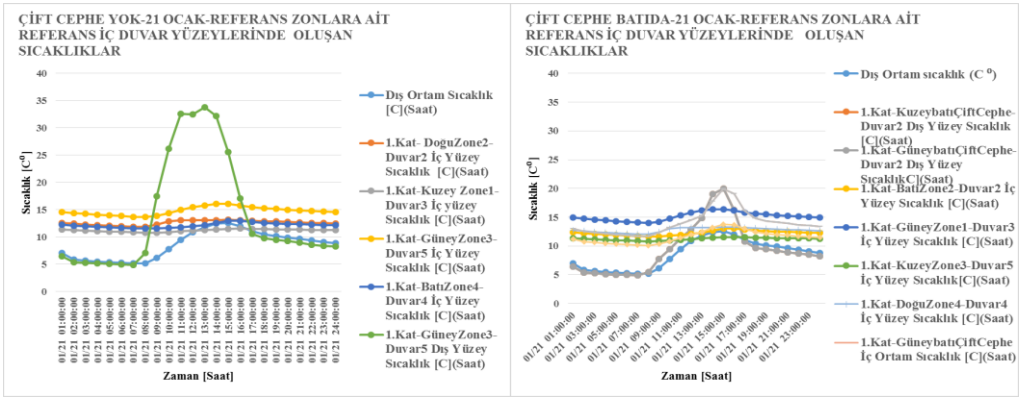
21 Temmuzda güneyde yer alan referans zonda en düşük sıcaklıkları sağlayan alternatiflerin doğu ve batı yönlerinde çift cephe olduğu plan tipleri olduğu görülmüştür. Değerler birbirine yakın olmakla beraber en yüksek sıcaklıklar dört yönde çift cephe olduğu alternatif durumda gerçekleşmiştir. Aynı gün için elde edilen sıcaklıklara göre batıda yer alan referans zonda benzer şekilde doğu- batı yönlerinde yer alan çift cephe sistemlerinin en düşük, dört yönde çift cephe yer alan alternatifin de en yüksek sıcaklıkları sağladığı görülmüştür (**Şekil 6**).

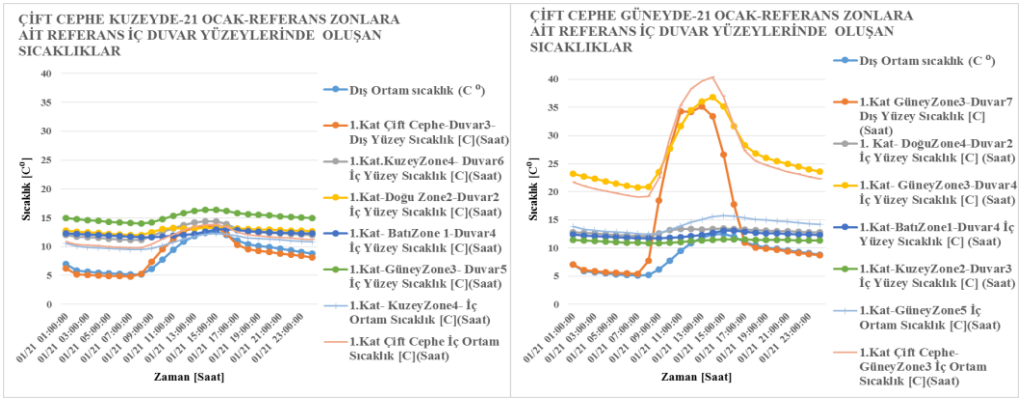


Şekil 6: Çift cephe sisteminin farklı yönlerde olma durumlarında güney ve batı yönlerindeki referans zonlarda 21 Ocak ve 21 Temmuz dizayn günlerinde elde edilen sıcaklıklar

5.2. Farklı Yönlerde Çift Cephe Olması Durumlarında 21 Ocak ve 21 Temmuz Dizayn Günlerinde Referans Zonlara Ait İç Yüzey Sıcaklıklarının Karşılaştırılması

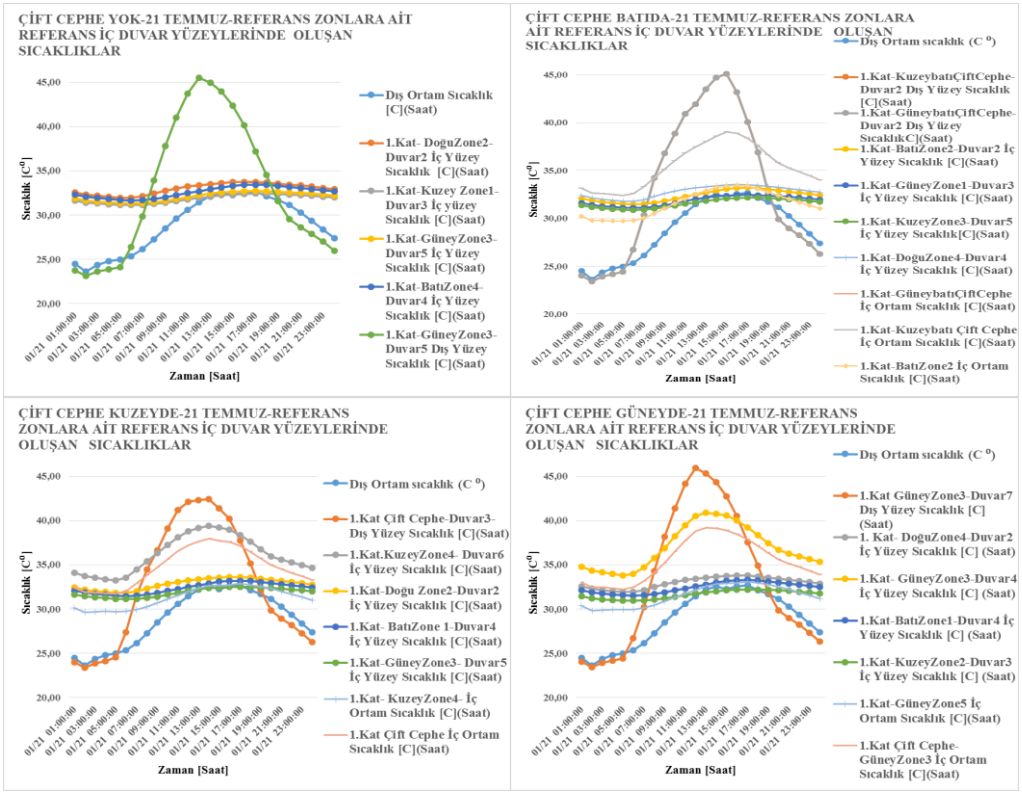
21 Ocak dizayn günü için elde edilen sonuçlara göre çift cephe olmadığı durumda en yüksek iç yüzey sıcaklıkları güneyde yer alan zonda oluşmaktadır. Güneyde yer alan mekanın dış yüzey sıcaklığı ile iç yüzey sıcaklığı arasındaki farkın yüksek olduğu görülmektedir. Çift cephe kuzeyde ve batıda yer aldığında bu fark düşmektedir. Çift cephe güneydeyken dış yüzey ve iç yüzey sıcaklıkları diğer alternatiflere oranla oldukça yüksek değerlere ulaşmıştır. Ortam ve iç yüzey sıcaklıkları arasındaki farkın da yüksek olduğu görülmektedir (**Şekil 7**).





Şekil7: Çift cephe yok, Çift cephe batıda, Çift cephe kuzeyde, Çift cephe güneyde alternatif durumlarında referans zonlarda 21 Ocak dizayn gününde elde edilen yüzey sıcaklıkları

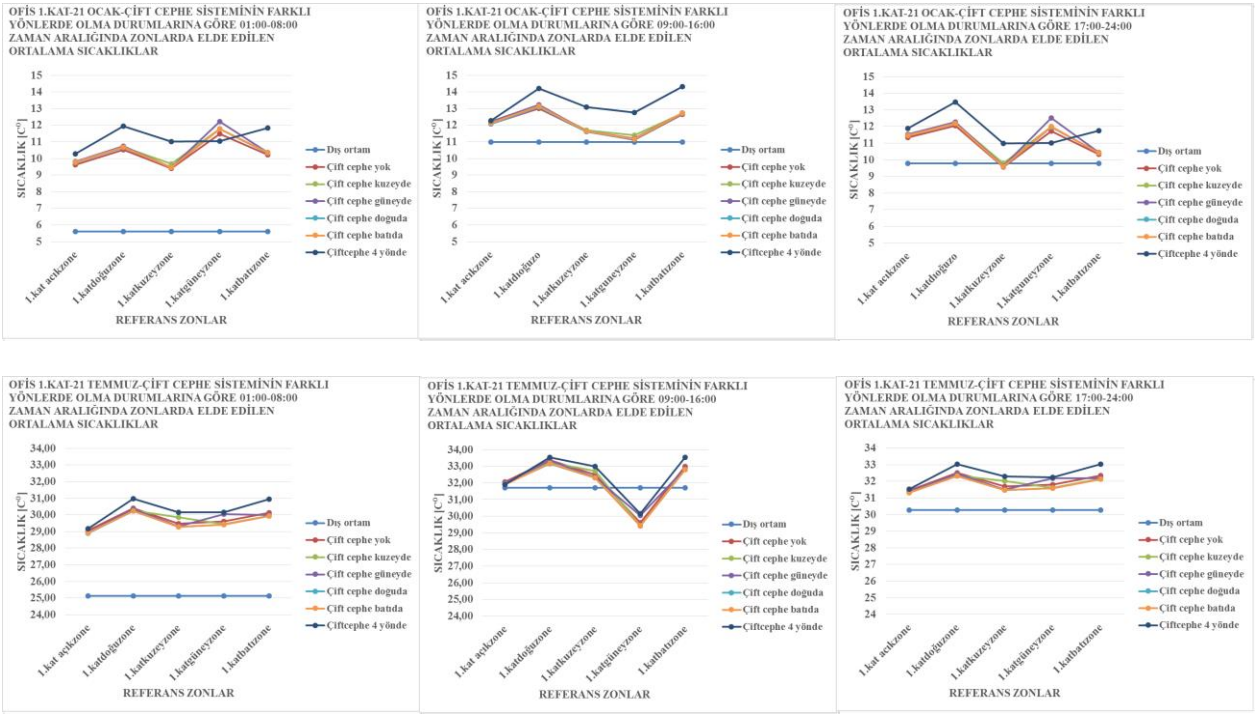
21 Temmuz dizayn günü için elde edilen sonuçlara göre 09:00-17:00 saatleri arasındaki sıcaklık değerleri göz önüne alındığında dört yönde çift cephe kurgulanan alternatif dışında değerlendirilen tüm alternatiflerde doğu ve batı referans zonlarında diğer alternatiflere göre yakın değerler olmakla birlikte daha yüksek sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Aynı zamanda çift cephe uygulanan cephelere ait referans zonların iç yüzey sıcaklıklarının diğer alternatiflere göre belirgin şekilde yüksek olduğu görülmüştür. (**Şekil 8**).



Şekil 8: Çift cephe yok, Çift cephe batıda, Çift cephe kuzeyde, Çift cephe güneyde alternatif durumlarında referans zonlarda 21 Temmuz dizayn gününde elde edilen yüzey sıcaklıkları

5.3. 21 Ocak, 21 Temmuz Dizayn Günleri İçerisinde Farklı Zaman Aralıklarında Referans Zonlarda, Farklı Çift Cephe Kurgularında İç Ortam Ortalama Sıcaklık Değişimleri

21 Ocakta, 01:00-08.00 ve 09:00-17:00 zaman aralıklarında tüm alternatif durumlar için tüm yönlerde yer alan zonlarda oluşan ısıl koşullar karşılaştırıldığında, 'dört yönde çift cephe' alternatifinin diğer seçeneklere oranla güney referans zonu dışında tüm zonlarda daha yüksek sıcaklıklara neden olduğu görülmektedir. 18:00-24:00 zaman aralığında, referans zonlarda, farklı çift cephe kurgularında iç ortam ortalama sıcaklık değişimleri karşılaştırıldığında aynı şekilde 'dört yönde çift cephe' alternatifinin etkisiyle diğer seçeneklere oranla güney referans zonu dışında tüm zonlarda daha yüksek sıcaklıkların oluştuğu gözlenmiştir.
21 Temmuzda, 01:00-08.00 ve 09:00-17:00 ve 18:00-24.00 zaman aralıklarında tüm alternatif durumlar için tüm yönlerdeki zonlarda oluşan ısıl koşullar karşılaştırıldığında, 'dört yönde çift cephe' alternatifinin diğer seçeneklere kıyasla tüm zonlarda daha yüksek sıcaklıklara neden olduğu görülmektedir. Diğer alternatiflerin iç ortamda yarattığı ortalama sıcaklıklar birbirine yakın olmakla birlikte en düşük sıcaklıkların doğu ve batıda çift cephe yer aldığı alternatif durumlarda gerçekleştiği görülmektedir (**Şekil 9**).



Şekil9: 21 Temmuz ve 21 Ocak dizayn günlerinde 01:00-08:00, 09:00-17:00, 18:00-24:00 zaman aralıklarında referans zonlarda, farklı çift cephe kurgularında iç ortam ortalama sıcaklık değişimleri

6. SONUÇLAR

İç ortam ile dış ortamı birbirinden ayıran dış cephe kabuğu, fiziksel çevre etkenlerinin olumlu ya da olumsuz etkilerinden gerektiğinde yarar ya da korunum sağlayarak, kullanıcı gereksinimleri doğrultusunda, iç ortam konfor koşullarının yaratılması için önemli işlevler üstlenmektedir. Günümüzde yaygınlaşan çift kabuk cephe sistemleri de en sıcak dönemde ısı kazanımlarını, en az

sıcak dönemde ısı kayıplarını azaltmak üzere dış iklim koşullarına karşı tampon bölge işlevini görmektedir.

Yapı konum, form, yönleniş; iç ve dış kabuk katmanlaşma, malzemelere ait optik özellikler, iç, dış kabuk arası mesafe; ısıtma, soğutma dönemindeki iklimsel veriler ve buna yönelik havalandırma, gölgeleme seçenekleri; gün içerisindeki zaman dilimi gibi parametrelere bağlı olarak çift cephe, iç ortam iklimsel koşullarına farklı biçimlerde etki etmektedir[**4**].

Tampon alan olarak işlev gören çift cephe sisteminin yapının farklı yönlerde kurgulanması durumunda iç mekanda oluşturduğu ısıl koşulların farklı olması beklenmektedir.

Ofis yapıları kullanıcı sayısı fazla olan, ısıtma, soğutma, aydınlatma ve havalandırma gereksinimleri fazla olduğu için yüksek miktarda enerji tüketimi gerçekleşen yapı tipleridir. Bu yapı tiplerinde enerji tüketimini azaltmak üzere tasarım aşamasında alınacak tüm kararlar büyük bir etkiye sahip olmaktadır. Çalışmada, birçok parametre kapsam dışı bırakılarak, sadece farklı yönlerde çift cephe sistemi uygulama kararının dahi yarattığı farkların Kocaeli iklimsel koşullarında ortaya konulması çalışmanın ana hedefini oluşturmuştur.

Bu bağlamda kurgulanan çalışmada 3 katlı ofis yapısı ele alınmıştır. Ofis yapısının farklı cephelerinde çift cephe sisteminin yer aldığı alternatif durumlar için 'Designbuilder' programında modeller oluşturulmuş ve 'Energyplus' programına aktarılarak yapının 1. katında referans zonlarda iç ortam, yüzey sıcaklıkları elde edilmiştir. Çalışmada havalandırma etkileri, çift cephe arasında kullanılan gölgeleme araçları, ısıtma sistemleri, kullanıcılardan kaynaklanan ısıl kazanımlar gibi parametreler göz önüne alınmamıştır. Elde edilen bulgulara göre ortalama sıcaklıklar değerlendirildiğinde dört yönde çift cephe sisteminin uygulandığı alternatif durumun diğer seçeneklere göre gün içerisinde farklı zaman dilimlerinin tümünde daha yüksek sıcaklıklar sağladığı görülmüştür.

Yaz ve kış dönemleri için farklı cephelerde çift cephe yer aldığı alternatif durumlar için elde edilen iç ortam sıcaklıklarının beklenenin aksine cephede hiç çift cephe sisteminin bulunmaması durumuna göre belirgin farklılık yaratmadığı görülmüştür. Yaz döneminde birinci katta tüm yönlerdeki referans zonlarda farklı yönlerdeki çift cephe sisteminin, iç ortam sıcaklıklarını çift cephe olmadığı duruma göre düşürerek avantaj sağladığı görülmekle beraber bu etkiler örnek olarak ele alınan ofis binasının boyutsal büyüklüğü nedeniyle yeterince fark edilmemektedir. Referans zonlar arasındaki mesafe oldukça fazla olduğundan tek yönde uygulanan çift cephe sisteminin uygulandığı yönde yaz ve kış dönemlerinde sağladığı avantajlar diğer zonlarda belirgin bir etkiye sahip olamamıştır.

Dört yönde çift cephe sisteminin uygulandığı alternatif yaz ve kış dönemlerinde iç ortamda kış dönemi 01:00-08:00 ve 18:00-24:00 zaman aralıklarında güney referans zon dışındaki tüm zonlarda diğer alternatiflere göre daha yüksek sıcaklıkların elde edilmesini sağlamıştır. Kış dönemi için ek ısıtmaya ihtiyaç duyulmakla birlikte ısıtma yüklerinin azaltılmasına katkı sağladığı görülmektedir. Bu alternatif olmadan diğer seçenekler değerlendirildiğinde kış döneminde tüm zaman dilimlerinde zonların tümünde sıcaklık farklarının çok az olduğu görülmüştür. En yüksek sıcaklıkların elde edilmesini sağlayan seçeneğin güney cephede çift cephe sisteminin tasarlandığı alternatif olduğu gözlenmiştir.

Yaz döneminde dört yönde çift cephe kurgusunun iç ortamda yarattığı iç ortam sıcaklıklarının diğer alternatiflerin değerlerine yakın olmakla birlikte tüm zonlarda ve tüm zaman aralıklarında daha yüksek olduğu görülmektedir.

Hiçbir ısıtma ve soğutma sistemi, gölgeleme aracı, kullanıcı bilgisi, aydınlatma, elektrikli ofis aletleri gibi ısıl performansı etkileyecek veriler dahil edilmeden, sadece çift cephenin yönlere göre kurgusunun etkisini incelemek amacıyla yürütülen çalışmada, oluşturulan örnek binanın cephe boyutlarının farklı ve büyük olmasının sonuçları etkilediği görülmektedir. Doğu ve batı

yönünde daha uzun cepheye sahip binada bu yönlerde uygulanacak çift cephe sisteminin daha az genişliğe sahip güney ve kuzey cephelerinde kurgulanan çift cephe sisteminin etkilerini net olarak belirlemeyi engellemiştir. Yön etkisinin ortaya konulması açısından çalışmanın dört yönde eşit boyutlara sahip farklı taban alanlarına sahip ofis binaları için yapılması daha belirgin sonuçlar elde edilmesini sağlayabilecektir.

KAYNAKLAR

1. N. Hashemia, vd., "Thermal behaviour of a ventilated double skin facade in hot arid climate," *Energy and Buildings.* **42** (2010), pp: 1823–1832.

2. N. Safer, vd., "Three-dimensional simulation with a CFD tool of the airflow phenomena in single floor double-skin facade equipped with a venetian blind," *Solar Energy.* **79** (2005), pp: 193–203.

3. V. Gavan, vd., "Experimental study of a mechanically ventilated double-skin façade with venetian sun-shading device: A full-scale investigation in controlled environment," Solar Energy. **84** (2010) , pp: 183–195.

4. A.L.S. Chan, vd.,, "Investigation on energy performance of double skin facade in Hong Kong," *Energy and Buildings.* **41** (2009), pp: 1135–1142.

5. T. E. Jiru.,, "Airflow and heat transfer in double skin facades," *Energy and Buildings.* **43** (2011), pp: 2760–2766.

6. W.J. Stec, vd., "Modelling the double skin facade with plants," *Energy and Buildings*. **37** (2005), pp: 419–427.

7. G. Baldinelli, "Double skin façades for warm climate regions: Analysis of a solution with an integrated movable shading system," *Building and Environment.* **44** (2009), pp: 1107–1118.

8. A.Fallah, vd., "Energy performance assessment of double-skin fac¸ade with thermal mass," *Energy and Buildings.* **42** (2010), pp: 1499–1509.

9. Z. Yılmaz ve F. C. Çetintas, "Double skin facade's effects on heat losses of office buildings in Istanbul," *Energy and Buildings.* **37** (2005), pp: 691–697.

10. W. Choi, vd., "Operation and control strategies for multi-storey double skin facades during theheating season," *Energy and Buildings.* **49**, pp: (2012) 454–465.

11. M. Coussirat, vd., "Performance and influence of numerical sub-models on the CFD simulation of free and forced convection in double-glazed ventilated facades," *Energy and Buildings.* **40** (2008), pp: 1781–1789.

12. A. Guardo, vd., "CFD assessment of the performance of lateral ventilation in Double Glazed Facades in Mediterranean climates," *Energy and Buildings.* **43** (2011), pp: 2539–2547.

13. X.Xu ve Z.Yang, "Natural ventilation in the double skin facade with venetian blind," *Energy and Buildings.* **40** (2008), pp: 1498–1504.
14. W. Ding, vd., "Natural ventilation performance of a double-skin," *Energy and Buildings.* **37** (2005), pp: 411–418.

15. URL – 2 Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE)
http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/software.cfm/ID=369/pagename=alpha_list 7
(January 19, 2014).

KONUT BİNALARINDA SAYDAMLIK ORANI-ENERJİ MALİYETİ İLİŞKİSİ

Doç.Dr. Esra Bostancıoğlu[a]
Y. Mimar Benihan Telatar[b]
İstanbul Kültür Üniversitesi Mimarlık Fakültesi
Ataköy Yerleşkesi, Bakırköy, İstanbul, 34156

ÖZET

Günümüzde fosil enerji kaynaklarının hızla tükenmesi ve bunların yarattığı çevre sorunlarının artması nedeniyle, enerji tüketiminin denetimi ve yönetimi giderek önem kazanmaktadır. Enerji tüketiminin sektörlere göre dağılımına bakıldığında, bina sektörü, sanayi ve ulaşımdan sonra, enerji verimliliğinin sağlanabileceği öncelikli alanlardan biri olarak görülmektedir. Enerjinin büyük bir miktarı binaların kullanımı sırasında tüketilmektedir. Bu nedenle binaların yaşam dönemlerinde, kullanım aşamasında harcanan enerjiyi azaltma yönündeki uygulamalara öncelik verilmektedir. Tasarım evresinde binaların pencere büyüklüğü ile ilgili kararların bina enerji maliyetleri üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada bina saydamlık oranındaki değişikliklerin bina ısıtma enerjisi maliyetlerini ne oranda değiştirdiği analiz edilecek ve ileriye yönelik olarak daha az enerji tüketen, çevreyi daha az kirleten konut binaları hakkında tasarım öncesinde bilgi sahibi olunabilecektir. Bunun için, aynı özelliklere sahip konut binalarının sadece pencere büyüklükleri, yönlenmeleri ve kabuk alternatifleri farklılaştırılarak, enerji maliyetlerinde meydana getirecekleri değişimler değerlendirilmiştir.

Anahtar sözcükler: Enerji verimliliği, enerji maliyeti, pencere büyüklüğü, kabuk tasarımı.

ABSTRACT

Today, with the rapid depletion of fossil energy sources and the increasing environmental problems caused by fossil fuels, supervision and management of energy consumption becomes more important. Looking at the breakdown of energy consumption by sectors, the buildings sector is seen as one of the priority areas for energy efficiency after industry and transportation. A large amount of energy is consumed during the utilization phase of the building. Therefore, priority is given to applications that reduce the amount of energy consumed during the utilization phase throughout the lifetimes of buildings. In the design phase, decisions regarding building window sizes have a considerable effect on the building energy costs. Therefore, this study will analyze the extent to which changes in building transparency rate affect building heating energy costs and thereby provide pre-design information for future reference for residential buildings with less energy consumption and less environmental pollution. To this end, residential buildings with the same characteristics have been used by differentiating only window sizes, orientations and envelope alternatives to assess the changes they cause in energy costs.

Key words: Energy efficiency, energy cost, window size, envelope design.

[a] e-posta adresi: ebostancioglu@iku.edu.tr
[b] e-posta adresi: benihantelatar@gmail.com

1.GİRİŞ

Türkiye'de konut üretimi inşaat sektöründe ve ülkesel yatırımlar içinde, yüksek bir payı oluşturmaktadır. Konut yapıları yaşam süreleri boyunca; insanların barınma ihtiyacını karşılamanın yanı sıra; kullanıcıların konfor koşullarını da sağlamak durumundadır. Konfor koşullarını sağlamada yapma alt sistemlerle tüketilen enerji miktarının artışına bağlı olarak; kullanılan enerji kaynaklarının azalması, bu kaynaklarda dış ülkelere bağımlı olunması, enerji tüketimi sonucu ortaya çıkan gazların insan sağlığına verdiği zararlar, hava kirliliğinin artması ve buna bağlı olarak oluşan küresel ısınma sorunları önemli hale gelmiştir. Ülkemizde de; başta sanayi ve konut sektörleri olmak üzere, enerji tüketimi her geçen yıl artmakta; konutlarda enerjinin büyük bir kısmı ısıtma ve soğutma amaçlı tüketilmektedir. Bütün bunlara dayanarak; gerekli konfor koşullarını sağlayan, minimum enerji tüketen konutların üretilmesi ve işletilmesi gerekmektedir. Isıtma enerjisi ekonomisinde etkili yapma çevre değişkenleri, binanın yeri, binanın diğer binalara göre konumu, binanın boyutları ve biçim faktörü, binanın yönlendiriliş durumu, bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleridir.
Bu çalışma; Türkiye'nin ılıman iklim yapısına sahip olan şehirlerinden biri olan İstanbul'daki konut binalarında pencere büyüklüklerinin (saydamlık oranının) değişiminin enerji maliyetleri üzerindeki etkisini belirlemek amacı ile yapılmıştır. Çalışma kapsamında, bina pencere büyüklükleri ile birlikte bina yönünün ve bina kabuğu özelliklerinin değiştirilmesi ile bina enerji maliyetlerinde görülen değişimin belirlenmesi hedeflenmiştir. Farklı kabuk özelliklerine sahip konut binalarının farklı saydamlık oranları için dört farklı yöndeki güneş enerjisi kazançları da dikkate alınarak enerji maliyetleri hesaplanmıştır. Hesaplanan enerji maliyetleri karşılaştırılarak, konutlarda saydamlık oranının (pencere büyüklüklerinin) enerji maliyetleri üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.

2. ISITMA ENERJİSİ EKONOMİSİNDE ETKİLİ YAPMA ÇEVRE DEĞİŞKENLERİ

Isıtma enerjisi ekonomisinde etkili olan yapma çevre değişkenleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

2.1. Binanın Yeri

Binanın yeri arazi parçasının eğimi, konumu, bitki örtüsü ve baktığı yönün ifade edildiği, iklim kontrolünde ve hava kirliliğini önlemede etkili olan bir tasarım parametresidir. Aynı zamanda yapma ısıtma ve iklimlendirme ihtiyacının ve buna bağlı olarak enerji harcamalarının minimize edilmesini ve dolayısıyla hava kirliliğinin önlenmesini olanaklı kılar **[1].**

2.2. Binanın Diğer Binalara Göre Konumu

Binayı etkileyen dış iklim elemanlarından güneş ışınımı ve hava hareketi hızı çevre binaların veya diğer engellerin ele alınan binadan uzaklığına, yüksekliğine ve bu binaya göre konumlandırılış durumuna bağlı olarak değişkenlik gösterir. Güneş ışınımından maksimum yararlanılmak istendiğinde, bina aralıkları komşu binaların ve diğer engellerin en uzun gölge boyuna eşit ya da bundan büyük olmalıdır **[2].**

2.3. Binanın Boyutları ve Biçim Faktörü

Hacmin yatay ve düşey doğrultudaki boyutları, hacmi çevreleyen elemanların ve dolayısıyla kabuk elemanının yüzey alanını belirleyen değişkenlerdir. Kabuk iç yüzey sıcaklığı diğer yüzeylerin sıcaklığından farklı olduğu için, kabuk alanının değişimi, ortalama ışınımsal sıcaklığın, kabuk elemanından geçen ısı miktarının ve dolayısıyla iç hava sıcaklığının değişimine yol açar.

2.4. Binanın Yönlendiriliş Durumu

Binayı çevreleyen kabuk elemanlarından güneş ışınımı aracılığı ile kazanılan ısı miktarı, iklimsel konforu etkileyen iç hava sıcaklığı ve ortalama ışınımsal sıcaklık gibi çevresel değişkenlerin değerlerinin değişiminde rol oynayan önemli etkenlerden biridir. Buna göre, farklı yönlere bakan yüzeyleri etkileyen güneş ışınımı şiddeti de farklı olacaktır **[3].** Bu nedenle, bina içi hacimlerin güneş ışınımından kazandığı ısı miktarı bina dış kabuğunun baktığı yönün bir fonksiyonudur.

2.5. Bina Kabuğunun Optik ve Termofiziksel Özellikleri

Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri ısıtma sisteminin de etkisiyle kabuğun opak ve saydam bileşenlerinden geçen ısı miktarının ve hacimde gerçekleşen iç hava sıcaklığı ve iç yüzey sıcaklıklarının belirlenmesinde etkili olurlar. İç çevre iklimsel koşulları ve yapma ısıtma ve iklimlendirme yükleri bina kabuğundan yitirilen ve kazanılan toplam ısı miktarlarına bağlı olarak değişim gösterir. Opak ve saydam bileşenlerden oluşan kabuk elemanlarının ısı geçişini etkileyen optik ve termofiziksel özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Opak ve saydam bileşenlerin toplam ısı geçirme katsayısı,
- Opak bileşenlerin zaman geciktirmesi ve genlik küçültme faktörü,
- Opak ve saydam bileşenlerin güneş ışınımına karşı yutuculuk geçirgenlik ve yansıtıcılık katsayıları,
- Saydamlık oranı.

Bu çalışmada, ısıtma enerjisi ekonomisinde etkili olan yapma çevre değişkenlerden binanın yönlendiriliş durumu, saydamlık oranı ve bina kabuğu malzemelerinin seçimine ilişkin özelliklerin bina ısıtma enerjisi maliyetleri üzerindeki etkisi ele alınmıştır.

3. YÖNTEM VE KABULLER

Bu çalışma; Türkiye'nin ılıman iklim yapısına sahip olan şehirlerinden biri olan İstanbul'da, pencere büyüklükleri değişiminin enerji maliyetleri üzerindeki etkisini belirlemek için yapılmıştır.

3.1. Pencere Büyüklüklerinin Belirlenmesi

Pencere büyüklüklerinin enerji maliyetlerine etkisi değerlendirilirken, bina kabuğu özellikleri ve binanın yönlenme farklılıkları da göz önünde tutulmuştur. Bina kabuğunun opak kısmında bu değişiklikler yapılırken pencere büyüklükleri sabit tutulmamıştır. Dört farklı pencere büyüklüğü

yapılabileceği düşünülmüştür. Bina saydamlık oranı sınıfları, %20, %25, %30 ve %35 olarak belirlenmiştir. Saydamlık oranları bina cephesindeki pencere alanlarının bina cephe alanına oranını ifade etmektedir.
Çalışmaya esas olacak konut binasının farklı saydamlık oranı grupları için özellikleri **Çizelge 1**'de verilmiştir. Alan çalışmasında kullanılacak olan konut binası; 5 katlı, katında 4 daire bulunan, kat yüksekliği 2.70 m olan, yaklaşık 100 m² alanlı dairelerden oluşan konut binasıdır.

Çizelge 1: Örnek olarak seçilen binanın özellikleri

	Saydamlık Oranı (%20)	Saydamlık Oranı (%25)	Saydamlık Oranı (%30)	Saydamlık Oranı (%25)
Dış Duvar Alanı (m^2)	1,080.00	1,080.00	1,080.00	1,080.00
Döşeme Alanı (m^2)	400.00	400.00	400.00	400.00
Toplam Döşeme Alanı (m^2)	2,000.00	2,000.00	2,000.00	2,000.00
Kabuk Alanı (A) (m^2)	1,879.90	1,879.90	1,879.90	1,879.90
Hacim (V) (m^3)	5,400.00	5,400.00	5,400.00	5,400.00
A/ V	0.348	0.348	0.348	0.348
Dış Duvar Alanı 1 (m^2) *(Duvar gövde malzemesi)*	549.95	497.43	443.35	391.74
Dış Duvar Alanı 2 (m^2) *(Betonarme)*	315.60	315.60	315.60	315.60
Pencere alanı (m^2)	110.50	163.02	217.10	265.98
Dış cephe kapı alanı (m^2)	103.95	103.95	103.95	103.95
Cephe Opaklık Oranı (%)	80	75	70	65
Cephe Saydamlık Oranı (%)	20	25	30	35

3.2. Kabuk Alternatiflerinin Belirlenmesi

Konutlardaki en büyük ısı kayıpları, duvar, döşeme, çatı, pencere ve ısı köprüleri gibi yapı elemanlarından gerçekleşmektedir. Bu bölgelerde oluşan ısı kayıpları oranları yapının mimarisine, konumuna, ısı yalıtım durumuna ve kullanılan yapı malzemelerinin özelliklerine göre değişiklik göstermektedir **[4].**
Gelişen teknoloji ile birlikte günümüzde duvarlar; tek bir katmandan oluşabildiği gibi; bünyesinde yalıtım malzemesi barındıran, birden fazla katmandan oluşan bir yapı elemanı olarak da ele alınabilmektedir. Yalıtım malzemeleri, su, ısı ve yangına karşı korunum sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Ülkemizde sıklıkla kullanılan yalıtım malzemelerinin lifli malzemeler ve köpüklü malzemeler olduğu görülmektedir. Lifli malzemeler; taşyünü ve camyünü gibi mineral yünleri ve ahşap yünü, köpüklü malzemeler ise; genleştirilmiş polistren köpük (EPS) ve haddeden çekilmiş polistren köpük (XPS) gibi polistren köpükler ve poliüretan köpükler olmalıdır.
Türkiye'de dış duvarlardaki yalıtım, ısı yalıtım malzemlerinin konumuna göre 4 farklı sistemde uygulanmaktadır:

- Duvarların dış yüzeyine yapılan ısı yalıtım uygulamaları (Mantolama)
- Duvarların iç yüzeyine yapılan ısı yalıtım uygulamaları,

- Çift duvar arası ısı yalıtım uygulamaları (Sandviç duvar),
- Havalandırmalı dış duvar yalıtım uygulamaları (giydirme cephe sistemi).

Dışarıdan yalıtım sisteminde, yalıtım binayı bir manto gibi sarmakta, ısı köprüsü oluşturmamaktadır. Dışarıdan yalıtım sisteminin maliyeti diğer sistemlere göre daha yüksek olmasına rağmen, konut gibi uzun süreli kullanılan mekanlar için en uygun sistemdir **[5].**

Isıtma enerjisi ekonomisinde etkili olan yapma çevre değişkenlerinden bina kabuğuna ait özellikler bu çalışmada göz önünde tutulmuştur. Bina kabuğuna oluşturan yapı bileşenleri duvarlar, çatı ve zemine oturan döşemedir. Duvarda, çatıda ve zemine oturan döşemede kullanılan gövde ve yalıtım malzemelerinin değişimi ile, bina ısıtma enerjisi maliyetleri farklılaşacaktır. Yapılan çalışmada ülkemizde mevcut standart ve yönetmelikler esas alındığından; öncelikle TS 825'te **[6]** yer alan duvar, zemine oturan döşeme ve çatıda kullanabilecek malzemeler belirlenmiştir. Çatı olarak ahşap oturtma çatı kabulü yapılmıştır. Yalıtım malzemesi olarak, zemine oturan döşemede 4 cm ekstüde polistren köpük (XPS), çatıda ise çatı arasında 10 cm cam yünü kullanımı olacağı düşünülmüştür. Duvar gövde malzemesi olarak, yatay delikli tuğla ve gazbeton; duvar yalıtım malzemesi olarak ise farklı kalınlıklarda ekstrüde polistren köpük (XPS), ekspande polistren köpük (EPS) ve taşyününün kullanımıyla farklı bina kabuğu alternatifleri oluşturulmuştur. Konut gibi uzun süreli kullanılan mekanlarda daha uygun bir sistem olduğu ve buhar difüzyonu sonucunda yoğuşma olasılığı daha az olduğu için; duvarlarda yalıtım malzemelerinin dıştan kullanıldığı (mantolama yapıldığı) kabul edilmiştir. Çalışmada kullanılan bina kabuğu alternatifleri **Çizelge 2**'de görülmektedir.

Çizelge 2: Bina Kabuğu Alternatifleri

	Duvar Gövde Malzemesi	Duvar Yalıtım Malzemesi	Çatı Yalıtım Malzemesi	Zemin Döşemesi Yalıtım Malzemesi
t	19 cm tuğla	-	-	4 cm XPS
t10c	19 cm tuğla	-	10 cm camyünü	4 cm XPS
t3x10c	19 cm tuğla	3 cm XPS	10 cm camyünü	4 cm XPS
t5e10c	19 cm tuğla	5 cm EPS	10 cm camyünü	4 cm XPS
t5t10c	19 cm tuğla	5 cm taşyünü	10 cm camyünü	4 cm XPS
t5x10c	19 cm tuğla	5 cm XPS	10 cm camyünü	4 cm XPS
g	19 cm gazbeton	-	-	4 cm XPS
g10c	19 cm gazbeton	-	10 cm camyünü	4 cm XPS
g3x10c	19 cm gazbeton	3 cm XPS	10 cm camyünü	4 cm XPS
g5e10c	19 cm gazbeton	5 cm EPS	10 cm camyünü	4 cm XPS
g5t10c	19 cm gazbeton	5 cm taşyünü	10 cm camyünü	4 cm XPS
g5x10c	19 cm gazbeton	5 cm XPS	10 cm camyünü	4 cm XPS

3.3. Enerji Maliyetlerinin Hesaplanması

Türkiye, TS 825'de il merkezleri için 4 iklim bölgesine ayrılmıştır. 1. bölge ısıtma için en az enerji ihtiyacının olduğu, 4. bölge ise en fazla enerji ihtiyacının olduğu bölgeyi temsil etmektedir. Bina alternatifleri için ısıtma enerjisi ihtiyacı ve yıllık yakıt miktarları, İstanbul'un da içinde olduğu ılıman iklim bölgesi olan 2. bölge için hesaplanmıştır. Duvar alternatifleri yoğuşma açısından kontrol edilmiştir ve yoğuşma meydana gelen alternatif bulunmamaktadır. Yıllık yakıt miktarlarının belirlenmesinde "TS 825 Isı Yalıtım Hesabı" bilgisayar programı kullanılmıştır. IZODER tarafından hazırlanan bu hesap programı; "TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları" standardını ve Türkiye'nin son 20 yıllık meteorolojik verilerini esas almaktadır. Bu program kullanılarak, TS 825 "Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları" standardında tanımlanan özgül ısı kaybı ve yoğuşma tahkikine yönelik hesaplamalar yapılabilmekte ve hesaplanan değerlerle standartta tanımlanan sınır değerler karşılaştırılarak, tasarlanan binanın enerji verimliliği ile ilgili ulusal mevzuatlara uygunluğu değerlendirilmektedir. Programın temel olarak işleyişi TS 825 standardına paraleldir. Programda öncelikle standarda tabi yapı ile ilgili bilgi girişleri yapılmakta, yapının yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ve yoğuşma hesapları yapılarak standartta belirtilen kriterlerin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir. Tanımlanan hesap metodunda, yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ısıtma dönemini kapsayan aylık ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının toplanması ile bulunur. Böylece binanın ısıl performansının gerçeğe daha yakın bir şekilde değerlendirilmesi mümkün olmaktadır **[7].**

Yıllık yakıt miktarlarının belirlenmesinden sonra; binalarda yakıt olarak doğalgaz tüketildiği kabul edilerek, yıllık ısıtma enerjisi maliyetleri belirlenmiştir. Isıtma enerjisi maliyetlerinin belirlenmesinde 2014 yılı Ocak ayı İstanbul doğalgaz fiyatları **[8]** esas alınmıştır.

Çalışmaya esas olarak alınmış konut binasının farklı saydamlık oranları için, bina kabuğu ve yönlenme durumu farklılaştırılarak ısıtma enerjisi maliyetleri hesaplanmıştır. Binalarda yönlenmenin farklılaşmasıyla oluşacak güneş enerjisi kazancı ile enerji maliyetleri farklılaşacaktır. Dolayısı ile farklı saydamlık oranlarında, binanın ana yönlere göre dört farklı yönde konumlanması ile oluşacak enerji maliyetleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Dört farklı yönlenmede pencere alanları ve oranlarının değerleri **Çizelge 3**'te verilmiştir.

4. DEĞERLENDIRME

Örnek olarak seçilmiş binada yıllık ısıtma enerjisi maliyetleri dört farklı yönlenme alternatifi göz önüne alınarak, oluşan minimum yıllık enerji maliyetleri **Çizelge 4**'te ve maksimum yıllık enerji maliyetleri **Çizelge 5**'te karşılaştırılmıştır. Yönlenme durumuna gore oluşan minimum enerji maliyetleri karşılaştırıldığında, yalıtımsız bina kabuğu alternatiflerinde saydamlık oranının %20'den %35'e artış göstermesi durumunda yıllık enerji maliyetleri % 2.94 ve % 3.36 oranında artmaktadır. Sadece çatı arasına yalıtım yapıldığında, saydamlık oranının %20'den %35'e artış göstermesi durumunda minimum yıllık enerji maliyetleri % 4.85 ve % 6.19 oranında artmaktadır. Hem duvar, hem çatı arasına yalıtım yapılıp, yalıtım kalınlığı arttırıldıkça, minimum yıllık enerji maliyetleri % 11.87'den % 13.85'e kadar artış göstermektedir.

Çizelge 3: Yönlenme Durumlarına Göre Pencere Alanları ve Oranları

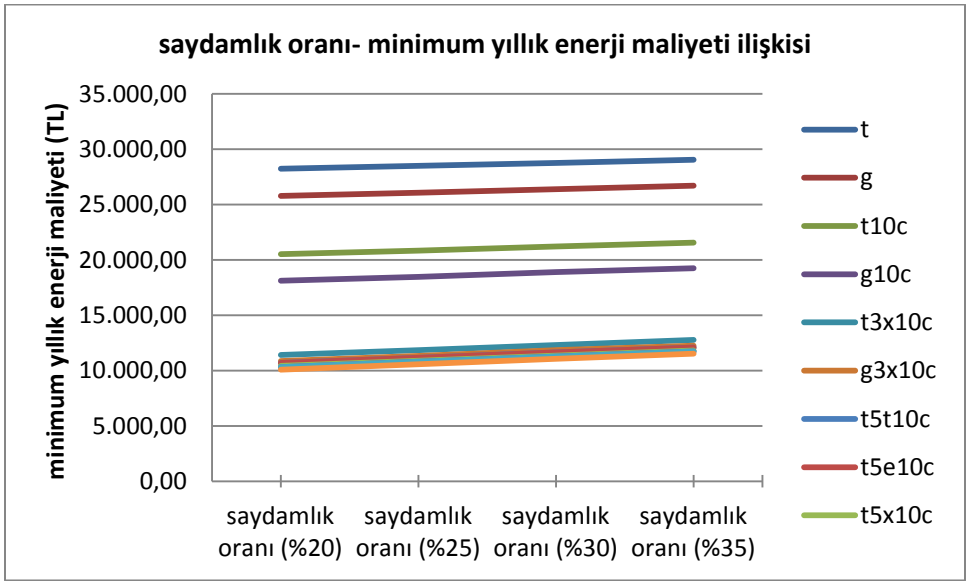
	Kuzey		Güney		Batı		Doğu	
	Oran (%)	Alan (m^2)	Oran (%)	Alan (m^2)	Oran (%)	Alan (m^2)	Oran (%)	Alan (m^2)
	Saydamlık Oranı %20							
Yönlenme 1	32.94	36.40	31.76	35.10	17.65	19.50	17.65	19.50
Yönlenme 2	31.76	35.10	32.64	36.40	17.65	19.50	17.65	19.50
Yönlenme 3	17.65	19.50	17.65	19.50	32.94	36.40	31.76	35.10
Yönlenme 4	17.65	19.50	17.65	19.50	31.76	35.10	32.94	36.40
	Saydamlık Oranı %25							
Yönlenme 1	27.11	44.20	25.04	40.82	23.92	39.00	23.92	39.00
Yönlenme 2	25.04	40.82	27.11	44.20	23.92	39.00	23.92	39.00
Yönlenme 3	23.92	39.00	23.92	39.00	27.11	44.20	25.04	40.82
Yönlenme 4	23.92	39.00	23.92	39.00	25.04	40.82	27.11	44.20
	Saydamlık Oranı %30							
Yönlenme 1	23.95	52.00	22.16	48.10	26.95	58.50	26.95	58.50
Yönlenme 2	22.16	48.10	23.95	52.00	26.95	58.50	26.95	58.50
Yönlenme 3	26.95	58.50	26.95	58.50	23.95	52.00	22.16	48.10
Yönlenme 4	26.95	58.50	26.95	58.50	22.16	48.10	23.95	52.00
	Saydamlık Oranı %35							
Yönlenme 1	23.95	63.70	22.29	59.28	26.88	71.50	26.88	71.50
Yönlenme 2	22.29	59.28	23.95	63.70	26.88	71.50	26.88	71.50
Yönlenme 3	26.88	71.50	26.88	71.50	23.95	63.70	22.29	59.28
Yönlenme 4	26.88	71.50	26.88	71.50	22.29	59.28	23.95	63.70

Yönlenme durumuna göre oluşan maksimum enerji maliyetleri karşılaştırıldığında, yalıtımsız bina kabuğu alternatiflerinde saydamlık oranının %20'den %35'e artış göstermesi durumunda yıllık enerji maliyetleri % 2.94 ve % 3.52 oranında artmaktadır. Sadece çatı arasına yalıtım yapıldığında, saydamlık oranının %20'den %35'e artış göstermesi durumunda maksimum yıllık enerji maliyetleri % 5.04 ve % 6.32 oranında artmaktadır. Hem duvar, hem çatı arasına yalıtım yapılıp, yalıtım kalınlığı arttırıldıkça, maksimum yıllık enerji maliyetleri % 11.95'ten % 14.11'e kadar artış göstermektedir.

Şekil 1'de farklı kabuk alternatiflerinin saydamlık oranı artışına bağlı olarak minimum enerji maliyetlerinin değişimi, **Şekil 2**'de ise maksimum enerji maliyetlerinin değişimi grafikler üzerinde gösterilmiştir. Gerek **Çizelge 4** ve **Çizelge 5**'teki sayısal sonuçlar, gerekse **Şekil 1** ve **Şekil 2**'deki grafikler değerlendirildiğinde, binaların yalıtımlı hale gelmesi ile birlikte saydamlık oranı artışının yıllık enerji maliyetlerini daha büyük oranda arttırdığı görülmektedir.

Çizelge 4: Saydamlık Oranı Artışına Bağlı Olarak Minimum Yıllık Enerji Maliyetlerinin Değişimi

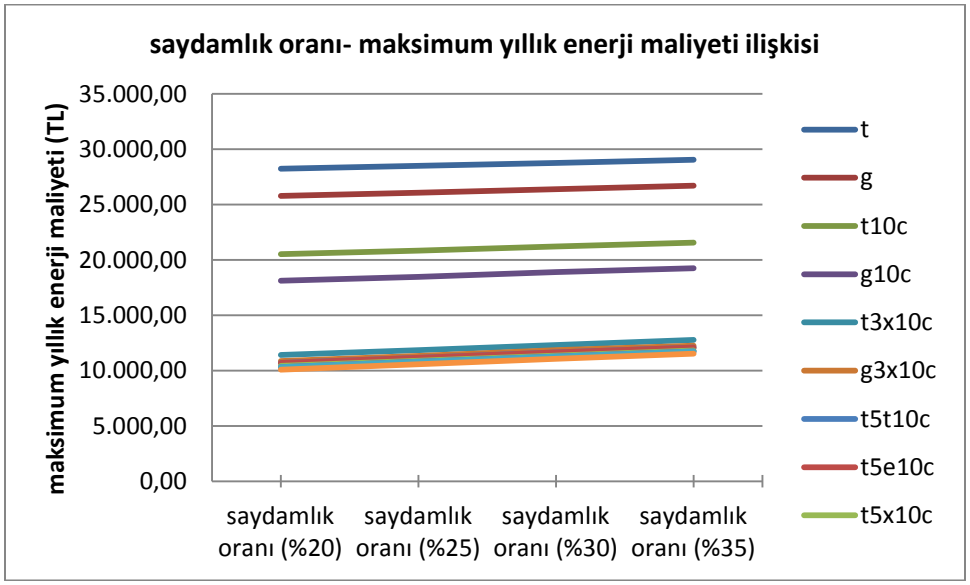
	Saydamlık Oranı (%20)		Saydamlık Oranı (%25)		Saydamlık Oranı (%30)		Saydamlık Oranı (%35)	
	minimum yıllık enerji maliyeti (TL)	minimum göreceli yıllık enerji maliyeti	minimum yıllık enerji maliyeti (TL)	minimum göreceli yıllık enerji maliyeti	minimum yıllık enerji maliyeti (TL)	minimum göreceli yıllık enerji maliyeti	minimum yıllık enerji maliyeti (TL)	minimum göreceli yıllık enerji maliyeti
t	28,193.39	100.00	28,461.72	100.95	28,757.46	102.00	29,021.26	102.94
g	25,777.67	100.00	26,020.47	100.94	26,366.33	102.28	26,644.82	103.36
t10c	20,499.50	100.00	20,813.61	101.53	21,166.59	103.25	21,494.61	104.85
g10c	18,082.49	100.00	18,427.96	101.91	18,841.49	104.20	19,202.38	106.19
t3x10c	11,388.40	100.00	11,832.93	103.90	12,290.89	107.92	12,740.65	111.87
g3x10c	10,865.08	100.00	11,291.02	103.92	11,795.49	108.56	12,207.01	112.35
t5t10c	10,661.39	100.00	11,126.26	104.36	11,596.44	108.77	12,043.34	112.96
t5e10c	10,661.39	100.00	11,126.26	104.36	11,596.44	108.77	12,043.34	112.96
t5x10c	10,381.30	100.00	10,863.21	104.64	11,310.52	108.95	11,772.11	113.40
g5t10c	10,309.31	100.00	10,768.05	104.45	11,246.91	109.09	11,696.11	113.45
g5e10c	10,309.31	100.00	10,768.05	104.45	11,246.91	109.09	11,696.11	113.45
g5x10c	10,081.58	100.00	10,531.83	104.47	11,038.03	109.49	11,478.29	113.85



Şekil 1: Minimum Yıllık Enerji Maliyetlerinin Saydamlık Oranına Bağlı Olarak Değişimi

Çizelge 5: Saydamlık Oranı Artışına Bağlı Olarak Maksimum Yıllık Enerji Maliyetlerinin Değişimi

	Saydamlık Oranı (%20)		Saydamlık Oranı (%25)		Saydamlık Oranı (%30)		Saydamlık Oranı (%35)	
	maksimum yıllık enerji maliyeti (TL)	maksimum göreceli yıllık enerji maliyeti	maksimum yıllık enerji maliyeti (TL)	maksimum göreceli yıllık enerji maliyeti	maksimum yıllık enerji maliyeti (TL)	maksimum göreceli yıllık enerji maliyeti	maksimum yıllık enerji maliyeti (TL)	maksimum göreceli yıllık enerji maliyeti
t	28,236.83	100.00	28,507.85	100.96	28,777.65	101.92	29,066.51	102.94
g	25,795.66	100.00	26,066.29	101.05	26405.40	102.36	26,703.72	103.52
t10c	20,518.05	100.00	20,842.83	101.58	21,217.91	103.41	21,552.06	105.04
g10c	18,114.49	100.00	18,472.05	101.97	18,891.88	104.29	19,258.72	106.32
t3x10c	11,410.92	100.00	11,858.41	103.92	12,307.90	107.86	12,775.03	111.95
g3x10c	10,873.95	100.00	11,316.31	104.07	11,843.37	108.92	12,244.71	112.61
t5t10c	10,695.18	100.00	11,153.29	104.28	11,642.84	108.86	12,078.71	112.94
t5e10c	10,695.18	100.00	11,153.29	104.28	11,642.84	108.86	12,078.71	112.94
t5x10c	10,413.76	100.00	10,885.94	104.53	11,358.33	109.07	11,826.11	113.56
g5t10c	10,318.60	100.00	10,808.23	104.75	11,279.78	109.32	11,730.96	113.69
g5e10c	10,318.60	100.00	10,808.23	104.75	11,279.78	109.32	11,730.96	113.69
g5x10c	10,091.97	100.00	10,558.55	104.62	11,070.39	109.70	11,516.35	114.11



Şekil 2: Maksimum Yıllık Enerji Maliyetlerinin Saydamlık Oranına Bağlı Olarak Değişimi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Farklı kabuk özelliklerine sahip konut binalarının farklı saydamlık oranları için dört farklı yöndeki güneş enerjisi kazançları da dikkate alınarak hesaplanan enerji maliyetleri karşılaştırıldığında, pencere büyüklüğü (saydamlık oranı) artışının bina enerji maliyetleri üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Binaların yalıtımlı hale gelmesi ile birlikte saydamlık oranı artışının enerji maliyetlerini daha büyük oranda arttırdığı görülmüştür. Yapılan çalışmada, yalıtımlı bir binadaki saydamlık oranının %20'den %35'e artış göstermesi durumunda, enerji maliyetlerinde %14'lere varan artış söz konusudur.
Konfor koşullarını sağlamada yapma alt sistemlerle tüketilen enerji miktarının artışına bağlı olarak; kullanılan enerji kaynaklarının azalması, bu kaynaklarda dış ülkelere bağımlı olunması, enerji tüketimi sonucu ortaya çıkan gazların insan sağlığına verdiği zararlar, hava kirliliğinin artması ve buna bağlı olarak oluşan küresel ısınma sorunları önemli hale gelmiştir. Bina pencere büyüklüğünün (saydamlık oranının) artışına bağlı olarak tüketilen enerjinin arttığı görülmektedir, dolayısıyla ile gereksiz yere pencere büyüklüklerini arttırmak, ısıtma ve soğutma enerjisi maliyetlerinin artışına neden olacaktır. Tasarım kararları verilirken gerekli konfor koşullarını sağlayan, minimum enerji tüketen konutların tasarlanması konusunda daha bilinçli davranılmalıdır.

KAYNAKLAR

1. E. Berköz, M. Küçükdoğu, Z. Yılmaz, ve diğerleri, "Enerji Etkin Konut ve Yerleşme Tasarımı", TÜBİTAK, İNTAG-201, Ankara, (1995).

2. N. Bayazıt, Y. Dülgeroğlu, Z. Yılmaz, M. Çıracı, "Toplu Konut Standartları-Mekan, Fiziksel Çevre, Bina Ekonomisi", Toplu Konut Yapımcıları Derneği, (1992).

3. Z. Yılmaz, "Yeni Toplu Konutların Kullanıcı Konforu Açısından Isısal Performanslarının Değerlendirilmesi", TÜBİTAK, MAG-716, (1988).

4. N. Karagöz, "Konutlarda Çift Duvar Arası Isı Yalıtım Uygulamalarının İncelenmesi ve Değerlendirilmesi", Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Bursa, (2004).

5. F. Ş. Sezer, "Türkiye'de Isı Yalıtımının Gelişimi ve Konutlarda Uygulanan Dış Duvar Isı Yalıtım Sistemleri", *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi,* **10**(2), (2005), pp:79-85.

6. TS 825, "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (2008).

7. http://www.izoder.org.tr/tr/bilgi-merkezi/TS-825-hesap-programi/index.asp

8. http://www.igdas.com.tr/Dynamic/Individual_Natural_Gas_Price_List.aspx?MI=2&CMI=228&MCI=150

İSKELET TAŞIYICILI EĞİMLİ ÇATILARDA FARKLI DEĞİŞKENLERİN "ISI KÖPRÜSÜ" OLUŞUMUNA ETKİSİ

Özge Sarı[a]
Y. Doç. Dr. M. Cem Altun[b]
İTÜ Mimarlık Fakültesi
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

ÖZET

İskelet sistemli çatılarda merteklerin bulunduğu bölgeler ısı yalıtımının kesintiye uğramasına sebep olmaktadır. Bu kesinti sebebiyle merteklerin bulunduğu bölgelerde ısı geçişi genele göre daha fazla gerçekleşmektedir. "Isı köprüleri" olarak adlandırılan bu kısımlar binanın hem ısıl performansını olumsuz etkilemekte hem de düşük yüzey sıcaklığı nedeniyle yoğuşmaya yol açma potansiyeli taşımaktadır. Isı köprüsü oluşumu çatı sisteminin boyutsal özellikleri ve kullanılan malzemelerin ısıl özellikleri ile iç ve dış hava sıcaklığı gibi çevresel etmenlere bağlıdır. Bu bağlamda eğimli bir çatı sistemi ele alınarak, ısı köprüsü oluşumuna neden olan özellikleri ve çevresel etmenlerin etkinliği, iç yüzey sıcaklığı, yüzeysel yoğuşmaya neden olacak bağıl nem oranı ve ısı akış yoğunluğu ölçütleri ile belirlenmiştir. Isıl performansın belirlenmesinde, Heat3 simülasyon programı kullanılmış, nem ile ilgili performansın belirlenmesinde ise çiğlenme sıcaklığı tabloları ve abakları kullanılmıştır. Çalışmada, merteklerin oluşturduğu ısı köprülerinin oluşumuna neden olan bu değişkenlerin etkinliğinin belirlenmesi ve tasarım sürecinde kullanılabilecek genel ilkelerin ortaya koyulması amaçlanmıştır.

Anahtar sözcükler: Isı köprüsü, Eğimli çatı, Mertek, Heat3

ABSTRACT

In sloped roofs with a skeleton type construction, rafters break the continuity of the thermal insulation layer causing "thermal bridges". Rafters are creating areas where the heat transfer is higher than a part free from thermal anomalies. Such "thermal bridges" not only increase heat transfer but also are potential cold surfaces for moisture accumulation. The occurrence of thermal bridges is affected by the dimensional properties of the roof system and properties of materials used in the roof system as well as environmental effects such as outdoor temperature and indoor temperature. In this context, the effectiveness of properties of a sloped roof system and environmental effects in causing thermal bridges, are analysed with criteria such as, inner surface temperatures, relative humidity values causing surface condensation and heat flow rates. The thermal performance is determined with the PC-program "HEAT 3". The moisture performance is determined with the help of dew point temperature charts. The aim of the paper is to present the effectiveness of variables causing thermal bridges and principles of thermal bridge – free design of sloped roofs.

Key words: Thermal Bridges, Sloped roof, Rafter, Heat3

[a]e-postaadresi: ozge.sari88@hotmail.com, adres: İTÜ FenBilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Çevre Kontrolü ve YapıTeknolojileri Y.L. Programı
[b] e-postaadresi: mcemaltun@gmail.com, adres: İTÜ Mimarlık Fakültesi, Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

1.GİRİŞ

Bina dış kabuğunda, yapı elemanlarının biraraya geldiği, çatı/dış duvar, dış duvar/döşeme gibi bölgeler, yapı elemanının tek başına gösterdiği ısıl ve nem ile ilgili performanstan, farklı ve genelde daha olumsuz özellikler taşıyabilmektedir. Aynı durum tek bir yapı elemanı bünyesinde de oluşabilmekte ve aynı yapı elemanının "tipik bölge"sine göre daha farklı ısıl ve nem ile ilgili özellikler gösterebilmektedir. Yapı elemanlarının, biçimsel özelliklerindeki farklar, kullanılan malzeme özelliklerindeki farklar ve malzeme katmanlarının konumlarındaki farklar, söz konusu durumun ortaya çıkmasına neden olan önemli etmenlerdir. "Isı köprüleri" olarak da isimlendirilen bu bölgelerde, ısı geçişinin artması ile bağıntılı olarak ısı kayıp ve kazançları artmakta ve iç yüzey sıcaklığının gerekli düzeyde olmaması nedeni ile iç ısıl konfor etkilenmektedir **[1]**. Yine bu bölgelerdeoluşan "düşük" iç yüzey sıcaklığı nedeni ile meydana gelen yüzeysel yoğuşma, yapısal ve görsel bozulmalara neden olmaktadır. Nemin bu bölgelerde birikmesi ve uzun süre yapı elemanına etki etmesi, küf ve mantar oluşumuna sebep olarak kullanıcı sağlığına da olumsuz şekilde yansımaktadır **[2].** Sıralanan olumsuzlukların tasarım sürecinde engellenmesi amacı ile "Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği"nde **[3]** ve "Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği"nde **[4]** de ısı köprülerinin engellenmesi gerektiği belirtilmektedir. Bu bağlamda, tasarım sürecinde yol göstermek amacı ile yapı elemanlarının bünyelerindeki ve birleşimlerinde oluşan ısı köprülerinin ısıl ve nem ile ilgili performansa etkilerini somut örnekler ve hesaplamalar ile ortaya koyan "katalog" tipi ulusal ve uluslararası çalışmalar da yapılmıştır **[5], [6], [7], [8]**.

İskelet tipi taşıyıcılı eğimli çatılarda da iskelet bileşenleri "ısı köprüsü" oluşumuna neden olabilmektedir. Özellikle sıcak çatılarda,ısı yalıtımının merteklerin arasına yerleştirilmesi oldukça yaygın bir uygulama yöntemidir. Bu durumda ahşap mertekler ısı yalıtımını kesintiye uğratarak mertek bölgelerinde ısı köprülerinin oluşmasına neden olmaktadır. Çalışmada, merteklerden kaynaklanan ısı köprülerinin oluşumuna neden olan değişkenlerin etkinliğinin belirlenmesi ve tasarım sürecinde kullanılabilecek genel ilkelerin ortaya koyulması amaçlanmıştır.

2. FARKLI DEĞİŞKENLERİN "ISI KÖPRÜSÜ" OLUŞUMUNA ETKİSİNİN BELİRLENMESİNDE KULLANILAN YÖNTEM

Çalışmada kullanılan hesaplama yöntemi ile değişkenlerin "ısı köprüsü" oluşumuna etkisinin belirlenmesinde kullanılan yaklaşımlar aşağıda sıralanmıştır.

2.1. Hesaplama Yöntemi

Çalışmada ısıl performansın belirlenmesi, HEAT3 simülasyon programıyla yapılmıştır **[9].** HEAT3 programı sonlu farklar yöntemi ile sabit veya değişken rejim şartları altında üç boyutlu ısı geçişini hesaplamaktadır. HEAT3 programı ile istenilen koordinatlardaki iç yüzey sıcaklık ($T_{İY}$) değerleri ile sistemin bütününün ısı akış yoğunluğu (q) da belirlenebilmektedir. Hesaplamalar sabit rejim şartlarında gerçekleştirilmiştir.

HEAT3'te elde edilen en düşük yüzey sıcaklık değerinde yüzeysel yoğuşmanın gerçekleşeceği bağıl nem oranı (φ_i) değerleri, DIN 4108 ve ASHRAE Elkitabında yer alan tablolar ve abaklar yardımı ile belirlenmiştir**[10], [11].**

2.2. Değişkenlerin Etkinliğinin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntem

Farklı değişkenlerin "ısı köprüsü" oluşumuna etkisinin belirlenmesinde iki aşamalı bir çalışma yapılmıştır. Birinci aşamada, uygulamada sıkça kullanılan malzemelerden ve boyutsal özelliklerde iskelet taşıyıcılı eğimli bir "sıcak" çatı sistemi oluşturulmuştur. Bu "tipik" çatı sistemi için tüm sistem değişkenleri ile iç hava sıcaklığı $T_İ=21^0C$ olarak sabit tutularak, sadece dış hava sıcaklığı (T_D); $+20^0C$ ile -40^0C arasında 5^0C'lik artışlarla değiştirilip mertek hizasındaki iç yüzeyin sıcaklığı ($T_{İY}$) ve ısı akış yoğunluğu (q) hesaplamaları yapılmıştır. Bu hesaplamalar ile ele alınan "tipik" çatı sistemi için yüzeysel yoğuşma açısından "kritik" dış hava sıcaklığı değeri belirlenmiştir.
Çalışmanın ikinci aşamasında, ısı köprüsü oluşumu açısından ele alınan sistem değişkenleri; "mertek eni", "mertek aralığı", "mertek ısıl iletkenliği" ve "ısı yalıtımı ısıl iletkenliği" olup, çevresel etmenlerden "dış hava sıcaklığı" ile "iç hava sıcaklığı" da değişken olarak göz önünde bulundurulmuştur. Bu aşamada, daha önce geliştirilmiş olan "tipik" çatı esas alınarak, her seferinde tek bir değişkene ait değerler, %25, %50 artırılarak ve %25, %50 azaltılarak ve diğer değişkenlere ait değerler sabit tutulup,iç yüzeyin sıcaklığı ve yüzeysel yoğuşmaya neden olacak bağıl nem oranı ile ısı akış yoğunluğu belirlenmiştir. Her bir durum için ayrıca, "mertek" bileşeni, dolayısıyla "ısı köprüsü" içermeyen bir "referans" çatı sistemi geliştirilerek hesaplamalar yapılmıştır. Söz konusu değişkenlerin etkinliği, iç yüzey sıcaklığı ve yüzeysel yoğuşmaya neden olacak bağıl nem oranı ile ısı akış yoğunluğu ölçütleri için ayrı ayrı belirlenmiştir. İç yüzeyin sıcaklığı ve yüzeysel yoğuşmaya neden olacak bağıl nem oranı ölçütünde, %25, %50 artırılan ve %25, %50 azaltılan değişken değerleri için belirlenen "iç yüzey sıcaklığı" değerleri "tipik" çatı için geçerli olan değer ile hem oransal olarak karşılaştırılmış hem de standart sapma değerleri belirlenmiştir. Isı akış yoğunluğu ölçütünde ise, %25, %50 artırılan ve %25, %50 azaltılan değişken değerleri için belirlenen "ısı akış yoğunluğu" değerleri, geliştirilen "referans" çatı "ısı akış yoğunluğu" değerleri ile oransal olarak karşılaştırılmıştır.

3. İSKELET TAŞIYICILI EĞİMLİ ÇATI SİSTEMİ ÖZELLİKLERİ VE ÇEVRESEL ETMENLER

"Tipik" çatı ve "tipik" çatı esas alınarak, her seferinde tek bir değişkene ait değerler, %25, %50 artırılarak ve %25, %50 azaltılarak ve diğer değişkenlere ait değerler sabit tutulup geliştirilen "seçenek" çatılara ait sistem özellikleri ve dış hava sıcaklığı ile iç hava sıcaklığı ile ilgili yapılan kabuller aşağıda verilmiştir.

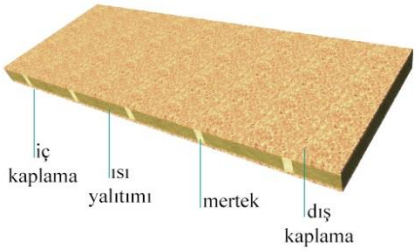
3.1. Sistem Özellikleri

"Tipik" çatının geliştirilmesinde aşağıdaki sistem özellikleri ile ilgili genel kabuller yapılmıştır (Şekil 1, 2):

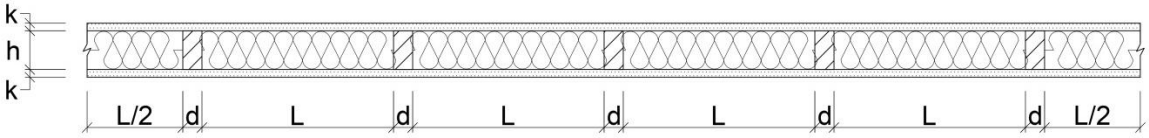
- İskelet taşıyıcılı çatının büyük bir bölümünü "mertekli" bölge oluşturmaktadır. Bu sebeple çalışmada ısı alışverişinin yoğun olarak gerçekleştiği bu çatı parçası göz önünde tutulmuştur.
- ISO 10211' de ısı köprüleri ile ilgili olarak yapılacak hesaplamalarda ısı köprüsü bölgesinden her yöne doğru en az bir metre "homojen" özellikler taşıyan bölgeler olacak biçimde modelleme yapılması istenmektedir **[12].** Buradan yola çıkılarak çatı parçası olarak, mertek aralığı 50cm olacak şekilde beş merteği kapsayan bir bölge ele alınmış ve ortadaki mertek için hesaplamalar yapılmıştır.

- Çatı katmanlaşmasında ısıl performansta daha az etkili olan su yalıtımı ve üst kaplama gibi katmanlar göz önünde bulundurulmamıştır.

Karşılaştırma amacıyla bütün değerlerin aynı tutulduğu ancak mertekleri içermeyen, böylece "ısı köprüsü"nün oluşmadığı bir referans "tipik" çatı katmanlaşması da geliştirilmiştir.



Şekil 1: Beş merteği kapsayan çatı parçası perspektifi.



Şekil 2: Oluşturulan "tipik" çatı ile "seçenek" çatılara ait beş merteği kapsayan çatı parçasında değişken olarak kabul edilen; mertek eni (d) ve mertek aralığı (L) ile sabit olarak ele alınan; mertek yüksekliği (h) ve kaplama kalınlığı (k).

Gerek "tipik" çatıya gerekse "seçenek" çatılara ait boyutsal özellikler ile malzeme özellikleri aşağıda sıralanmıştır (Şekil 2).

3.1.1. Boyutsal Özellikler

Mertek eni (d), yüksekliği (h) ve aralığı(L) gibi boyutsal özellikler geçilen açıklık, çatıya gelen yükler, kaplama yükleri ve bunun gibi etmenler doğrultusunda farklılaştığı için değişken olarak ele alınmıştır. Mertek yüksekliğinin (h) değişimi, yapılan kabuller çerçevesinde,ısı yalıtım katmanı kalınlığını da değiştireceği için ve yine bir seçenekte sadece bir değişkenin değerlerinin farklılaşacağı kabulü yapıldığından, h=10cm olarak sabit tutulmuştur.

3.1.1.1. Mertek Eni

Mertek eni (d)"tipik" çatıda, 5 cm olarak kabul edilmiştir. 5cm, temel değer alınarak %25, %50 azaltılarak ve %25, %50 artırılarak 2,5cm, 3,75cm ve 6,25cm, 7,5cm olacak şekilde dörtmertek eni için "seçenek" çatılar geliştirilmiştir. Hesaplamada mertek yüksekliği 10cm, mertek aralığı 50cm, mertek ısıl iletkenliği 0,13 W/mK, ısı yalıtımı ısıl iletkenliği 0,040 W/mK, dış sıcaklık -20^0C ve iç sıcaklık 21^0C olarak sabit tutulmuştur.

3.1.1.2. Mertek Aralığı

Mertek aralığı (L) "tipik" çatıda, 50cm olarak kabul edilmiştir. 50cm, temel değer alınarak %25, %50 azaltılarak ve %25, %50 artırılarak 25cm, 37,5cm ve 62,5cm, 75cm olacak şekilde dörtmertek aralığı değeri için "seçenek" çatılar geliştirilmiştir. Hesaplamada mertek eni 5cm,

mertek yüksekliği 10cm, mertek ısıl iletkenliği 0,13 W/mK, ısı yalıtımı ısıl iletkenliği 0,040 W/mK, dış sıcaklık -20^{0}C ve iç sıcaklık 21^{0}C olarak sabit tutulmuştur.
Mertek aralığı çatıya gelen yükler ve kaplama yüküne bağlıdır. Mertek aralığı arttıkça iki mertek arası açıklık geçebilen kaplama kalınlığının (k) da artması gerekmektedir. Ancak bu çalışmada tek bir değer değiştirilerek hesaplamalar yapıldığı ve kalınlığın artması sonuçları etkileyeceği için kaplama kalınlığı, k=2cm olarak sabit kabul edilmiştir.

3.1.2. Malzeme Özellikleri

Oluşturulan "tipik" çatıda, uygulamada yaygın olarak kullanılan "çam" (iğne yapraklı),mertek malzemesi ve pratikte sıklıkla kullanılan 040 ısıl iletkenlik grubundan olan taş yünü ısı yalıtım malzemesi olarak kabul edilmiştir **[13].**

3.1.2.1. Mertek Isıl İletkenlik Hesap Değeri

"Tipik" çatıda, merteğin ısıl iletkenliği 0,13 W/mK olarak kabul edilmiştir. 0,13 W/mK temel değer alınarak %25, %50 azaltılarak ve %25, %50 artırılarak 0,065 W/mK, 0,0975 W/mK ve 0,1625 W/mK, 0,195 W/mK olacak şekilde dört mertek ısıl iletkenliği için"seçenek" çatılar geliştirilmiştir. Hesaplamada mertek eni 5 cm, mertek yüksekliği 10cm, mertek aralığı 50 cm, ısı yalıtımı ısıl iletkenliği 0,040 W/mK, dış sıcaklık -20^{0}C ve iç sıcaklık 21^{0}C olarak sabit tutulmuştur.

3.1.2.2. Isı Yalıtımı Isıl İletkenlik Hesap Değeri

"Tipik" çatıda, ısı yalıtımının ısıl iletkenliği 0,04 W/mKolarak kabul edilmiştir. 0,04 W/mKtemel değer alınarak %25, %50 azaltılarak ve %25, %50 artırılarak 0,065 W/mK, 0,0975 W/mK ve 0,1625 W/mK, 0,195 W/mK olacak şekilde dört ısı yalıtımı ısıl iletkenliği için "seçenek" çatılar geliştirilmiştir. Hesaplamada mertek eni 5cm, mertek yüksekliği 10cm, mertek aralığı 50 cm, mertek ısıl iletkenliği 0,13 W/mK, dış sıcaklık -20^{0}C ve iç sıcaklık 21^{0}C olarak sabit tutulmuştur.

3.2. Çevresel Etmenler

Çevresel etmenler, dış hava sıcaklığı ve iç hava sıcaklığı bağlamında ele alınmıştır.

3.2.1. Dış Hava Sıcaklığı

"Tipik" çatı sistemi için tüm sistem değişkenleri ile iç hava sıcaklığı 21^{0}C olarak sabit tutularak, sadece dış hava sıcaklığı +20^{0}C ile -40^{0}C arasında 5^{0}C'lik artışlarla değiştirilip mertek hizasındaki iç yüzeyin sıcaklığı ve ısı akış yoğunluğu hesaplamaları yapılmıştır. Farklı işlevlere sahip binalarda farklılık göstermekle birlikte, %70-%80' lik iç bağıl nem oranları üst sınır değer olarak tanımlanabilmektedir **[14].** Bu verilerden yola çıkılarak ele alınan "tipik" çatı sistemi için yüzeysel yoğuşma açısından "kritik" dış hava sıcaklığı değeri -20^{0}C olarak belirlenmiştir.
Dış hava sıcaklığı için -20^{0}C temel değer alınarak %25, %50 azaltılarak ve %25, %50 artırılarak -30^{0}C, -25^{0}C ve -15^{0}C, -10^{0}C olacak şekilde 5 değer için hesap yapılmıştır. Hesaplamada mertek eni 5 cm, mertek yüksekliği 10cm, mertek aralığı 50 cm, mertek ısıl iletkenliği 0,13 W/mK, ısı yalıtımı ısıl iletkenliği 0,040 W/mK ve iç hava sıcaklığı, 21^{0}C olarak sabit tutulmuştur.

3.2.2. İç Hava Sıcaklığı

"Tipik" çatıda, iç hava sıcaklığı 21^0C olarak kabul edilmiştir. 21^0C temel değer alınarak %25, %50 azaltılarak ve %25, %50 artırılarak $10,5^0$C, $15,75^0$C ve $26,25^0$C, $31,5^0$C olacak şekilde 5 değer için hesap yapılmıştır. Hesaplamada mertek eni 5 cm, mertek yüksekliği 10cm, mertek aralığı 50cm, mertek ısıl iletkenliği 0,13 W/mK, ısı yalıtımı ısıl iletkenliği 0,040 W/mK ve dış sıcaklık -20^0C olarak sabit tutulmuştur.

4. "TİPİK" ÇATI VE SEÇENEKLERİNDE DEĞİŞKENLERİN "ISI KÖPRÜSÜ" OLUŞUMUNA ETKİSİ

Çalışmanın birinci aşamasında, oluşturulan "tipik" çatıda dış hava sıcaklığı değişken olarak ele alınıp "ısı köprüsü" oluşumuna etkisi hesaplanmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında geliştirilen "seçenek" çatılarda farklı değişkenlerin ısı köprüsü oluşumuna etkisi, iç yüzeyin sıcaklığı veyüzeysel yoğuşmaya neden olacak bağıl nem oranı ile ısı akış yoğunluğu ölçütleri ile belirlenmiştir.

4.1. "Tipik" Çatıda Dış Hava Sıcaklığının "Isı Köprüsü" Oluşumuna Etkisi

"Tipik" çatı sistemi için tüm sistem değişkenleri ile iç hava sıcaklığı ($T_İ=21^0$C) sabit tutularak, sadece dış hava sıcaklığı (T_D) $+20^0$C ile -40^0C arasında 5^0C'lik artışlarla değiştirilip, çatı parçasının ortasındaki mertek aksındaki iç yüzeyin sıcaklığı ($T_{İY}$), yüzeysel yoğuşmanın gerçekleşeceği bağıl nem oranı ($\varphi_İ$) değerleri ve ısı akış yoğunluğu (q) belirlenmiştir. Bulunan iç yüzeyin sıcaklığı ($T_{İY}$) ve ısı akış yoğunluğu (q) değerleri ile merteksiz "tipik" referans çatı için belirlenen değerler arasındaki farklar oransal olarak ortaya koyulmuştur **(Çizelge 1).** Yüzeysel yoğuşmanın gerçekleşeceği bağıl nem oranı ($\varphi_İ$=~%80) riskli görüldüğü dış hava sıcaklığı $T_D=20^0$C olarak belirlenmiştir.

Çizelge 1: Dış hava sıcaklığına bağlı olarak mertek aksındaki iç yüzey sıcaklıkları, ısı akış yoğunlukları, referans değerlerle karşılaştırılması ve yoğuşmanın gerçekleştiği bağıl nem oranı değerleri.

Dış hava sıcaklığı, T_D [^{0}C]	Mertek Aksındaki İç Yüzey Sıcaklığı, T_{iy}[^{0}C]	T_{iy}fark [%]	Yoğuşmanın Gerçekleştiği Bağıl Nem Oranı, φ_i[%]	Isı Akış Yoğunluğu, q [W/m^2]	q fark [%]
-40	15,909	-13,241	~%73	23,254	13,512
-35	16,326	-12,013	~%75	21,349	13,516
-30	16,743	-10,813	~%77	19,441	13,504
-25	17,160	-9,646	~%78	17,538	13,537
-20	17,578	-8,496	~%80	15,621	13,458
-15	17,997	-7,366	~%83	13,728	13,539
-10	18,413	-6,281	~%85	11,819	13,535
-5	18,833	-5,195	~%88	9,918	13,621
0	19,248	-4,158	~%90	8,003	13,405
5	19,665	-3,133	~%92	6,098	13,493
10	20,082	-1,185	~%94	4,192	13,451
15	20,499	-1,152	~%95	2,287	13,555
20	20,917	0,186	~%95	0,381	13,731

4.2. Isı Akış Yoğunluğu Ölçütü ile Değişkenlerin "Isı Köprüsü" Oluşumuna Etkisi

Değişkenlere bağlı olarak geliştirilen "seçenek" çatı parçalarının ısı akış yoğunluğu (q)değerleri ile "mertek" bileşeni, dolayısıyla "ısı köprüsü" içermeyen "referans" çatı sistemindeki ısı akış yoğunluğu (q, Referans) değerleri hesaplanmış ve aralarındaki oransal farklar (q fark) **Çizelge 2'**de verilmiştir.
"Referans" çatıya kıyasla "seçenek" çatıda, mertek eninin en küçük değerinde ısı akış yoğunluğu %7,335, en büyük değerinde %24,004 oranında artmaktadır.
"Referans" çatıya kıyasla "seçenek" çatıda, mertek aralığının en küçük değerinde ısı akış yoğunluğu %25,050, en büyük değerinde %9,217 oranında artmaktadır.
"Referans" çatıya kıyasla "seçenek" çatıda, mertek ısıl iletkenliğinin en küçük değerinde ısı akış yoğunluğu %4,394, en büyük değerinde %20,213 oranında artmaktadır.
"Referans" çatıya kıyasla "seçenek" çatıda, ısı yalıtımı ısıl iletkenliğinin en küçük değerinde ısı akış yoğunluğu %33,333, en büyük değerinde %6,894 oranında artmaktadır.
"Referans" çatıya kıyasla "seçenek" çatıda, dış hava sıcaklığının en küçük değerinde ısı akış yoğunluğu %13,504, en büyük değerinde %13,535 oranında artmaktadır.
"Referans" çatıya kıyasla iç hava sıcaklığının en küçük değerinde ısı akış yoğunluğu %13,522, en büyük değerinde %13,535 oranında artmaktadır.

Çizelge 2: Farklı etmenlere göre yüzey sıcaklıkları, ısı akış yoğunluğu ve referans çatıya göre % değerleri

		Isı Akış Yoğunluğu, q [W/m^2]	Isı Akış Yoğunluğu, q [W/m^2] (Referans)	**q fark %**
Mertek Eni (cm)	2,5	14,778	13,768	**7,335**
	3,75	15,214	13,768	**10,502**
	5	15,621	13,768	**13,458**
	6,25	16,020	13,768	**16,356**
	7,5	17,073	13,768	**24,004**
Mertek Aralığı (cm)	25	17,217	13,768	**25,050**
	37,5	16,177	13,768	**17,497**
	50	15,621	13,768	**13,458**
	62,5	15,280	13,768	**10,982**
	75	15,037	13,768	**9,217**
Mertek Isıl İletkenliği (W/mK)	0,065	14,373	13,768	**4,394**
	0,0975	15,058	13,768	**9,369**
	0,13	15,621	13,768	**13,458**
	0,1625	16,123	13,768	**17,104**
	0,195	16,551	13,768	**20,213**
Isı Yalıtımı Isıl İletkenliği (W/mK)	0,02	9,980	7,485	**33,333**
	0,03	12,929	10,758	**20,180**
	0,04	15,621	13,768	**13,458**
	0,05	18,122	16,546	**9,524**
	0,06	20,436	19,118	**6,894**
Dış Hava Sıcaklığı (^{0}C)	-30	19,441	17,128	**13,504**
	-25	17,538	15,447	**13,537**
	-20	15,621	13,768	**13,458**
	-15	13,728	12,090	**13,535**
	-10	11,819	10,410	**13,535**
İç Hava Sıcaklığı (^{0}C)	10,5	11,627	10,242	**13,522**
	15,75	13,630	12,005	**13,536**
	21	15,621	13,768	**13,458**
	26,25	17,627	15,530	**13,502**
	31,5	19,636	17,295	**13,535**

4.3. İç Yüzey Sıcaklığı ve Yüzeysel Yoğuşmaya Neden Olacak Bağıl Nem Oranı Ölçütü ile Değişkenlerin "Isı Köprüsü" Oluşumuna Etkisi

Değişkenlere bağlı olarak geliştirilen "seçenek" çatı parçalarının mertek aksı üzerindeki iç yüzey sıcaklığı (T_{iy}) değerleri hesaplanmış ve aynı koşullardaki "tipik" çatı parçalarının mertek aksı üzerindeki iç yüzey sıcaklığı olanT_{iy} =17,578^{0}C değeri ile oransal olarak karşılaştırılmıştır (T_{iy} fark). Bunun yanı sıra oluşan farklardan yola çıkılarak standart sapma değerleri de belirlenmiştir. Bu değerler ile birlikte yoğuşmanın gerçekleştiği iç bağıl nem oranları **Çizelge 3**'te sıralanmıştır.

Çizelge 3: Değişkenlere bağlı olarak geliştirilen "seçenek" çatının mertek aksı üzerindeki iç yüzey sıcaklığı (T_{iy}) "tipik" çatının mertek aksı üzerindeki iç yüzey sıcaklığı (T_{iy} =17,578^{0}C) ile oransal farklar (T_{iy} fark), oransal farkın standart sapma değerleri veyoğuşmanın gerçekleştiği bağıl nem oranı.

		Mertek Aksındaki İç Yüzey Sıcaklığı, T_{iy}[^{0}C]	**T_{iy} fark % ("Tipik" çatı T_{iy} =17,578'e göre)**	**T_{iy} standart sapma**	Yoğuşmanın Gerçekleştiği Bağıl Nem Oranı, φ_i[%]
Mertek Eni (cm)	2,5	18,143	**3,214**	**0,36213**	**~%83**
	3,75	17,818	**1,365**		**~%82**
	5	17,578	**-**		**~%81**
	6,25	17,399	**-1,018**		**~%80**
	7,5	17,078	**-2,844**		**~%78**
Mertek Aralığı (cm)	25	17,581	**0,017**	**0,00256**	**~%81**
	37,5	17,580	**0,011**		**~%81**
	50	17,578	**-**		**~%81**
	62,5	17,576	**-0,011**		**~%81**
	75	17,574	**-0,023**		**~%81**
Mertek Isıl İletkenliği (W/mK)	0,065	18,668	**6,201**	**0,66941**	**~%86**
	0,0975	18,078	**2,844**		**~%84**
	0,13	17,578	**-**		**~%81**
	0,1625	17,148	**-2,446**		**~%78**
	0,195	16,776	**-4,563**		**~%77**
Isı Yalıtımı Isıl İletkenliği (W/mK)	0,02	17,770	**1,092**	**0,14061**	**~%82**
	0,03	17,678	**0,569**		**~%81**
	0,04	17,578	**-**		**~%81**
	0,05	17,478	**-0,569**		**~%80**
	0,06	17,373	**-1,166**		**~%80**
Dış Hava Sıcaklığı (^{0}C)	-30	16,743	**-4,750**	**0,59072**	**~%77**
	-25	17,160	**-2,378**		**~%78**
	-20	17,578	**-**		**~%81**
	-15	17,997	**2,384**		**~%83**
	-10	18,413	**4,750**		**~%85**
İç Hava Sıcaklığı (^{0}C)	10,5	7,954	**-54,750**	**6,80576**	**~%87**
	15,75	12,766	**-27,375**		**~%82**
	21	17,578	**-**		**~%81**
	26,25	22,392	**27,387**		**~%80**
	31,5	27,203	**54,756**		**~%82**

İç yüzey sıcaklığı, "seçenek" çatıda, "tipik" çatıya göre mertek eninin, en düşük değerinde %3,214 artmakta, en yüksek değerinde %2,844 azalmaktadır.
İç yüzey sıcaklığı, "seçenek" çatıda, "tipik" çatıya göre mertek aralığının, en düşük değerinde %0,017 artmakta, en yüksek değerinde %0,023 azalmaktadır.
İç yüzey sıcaklığı, "seçenek" çatıda, "tipik" çatıya göre mertek ısıl iletkenliğinin, en düşük değerinde %6,201 artmakta, en yüksek değerinde %4,563 azalmaktadır.
İç yüzey sıcaklığı, "seçenek" çatıda, "tipik" çatıya göre ısı yalıtımı ısıl iletkenliğinin, en düşük değerinde %1,092 artmakta, en yüksek değerinde %1,166 azalmaktadır.
İç yüzey sıcaklığı, "seçenek" çatıda, "tipik" çatıya göre dış hava sıcaklığının, en düşük değerinde %4,750 azalmakta, en yüksek değerinde %4,750 artmaktadır.
İç yüzey sıcaklığı, "seçenek" çatıda, "tipik" çatıya göre iç hava sıcaklığının,en düşük değerinde %54,750 azalmakta, en yüksek değerinde %54,756 artmaktadır.
İç yüzey sıcaklıklarının oransal farklarının standart sapması, iç hava sıcaklığı için 6,8057, mertek aralığı için de 0,00256 olarak belirlenmiştir. Burada, iç hava sıcaklığı, iç yüzey sıcaklığını oluşmasında en belirleyici etmen olması nedeni iç hava sıcaklığı değişken olarak ele alındığında iç yüzey sıcaklıklarındaki oransal farklar da en üst düzeye ulaşmaktadır. Buna bağlı olarak bu durum "ısı köprüsü" oluşumuna etki açısından değerlendirme dışı tutulmuştur.
Yoğuşmanın gerçekleştiği en düşük bağıl nem oranı (**~%77**), mertek ısıl iletkenliğinin en yüksek olduğu seçenek ile dış hava sıcaklığının en düşük olduğu seçenekte oluşmaktadır.

5. SONUÇLAR

Çalışmada, iskelet taşıyıcılı eğimli çatı sistemlerinde, merteklerden kaynaklanan ısı köprülerinin oluşumuna neden olan değişkenlerin etkinliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada ele alınan sistem değişkenleri; mertek eni, mertek aralığı, mertek ısıl iletkenliği ve ısı yalıtımı ısıl iletkenliği olup, çevresel etmenlerden dış hava sıcaklığı ile iç hava sıcaklığı da değişken olarak göz önünde bulundurulmuştur. Değişkenlerin etkinliği, iç yüzey sıcaklığı ve yüzeysel yoğuşmaya neden olacak bağıl nem oranı (T_{iy},φ_i) ile ısı akış yoğunluğu (q) ölçütleri ile değerlendirilmiştir.
Ele alınan sistemlerin ısıl performans analizi için yapılan bilgisayar simülasyon çalışmasının ve nem ile ilgili performansın, çiğlenme sıcaklığı tabloları ve abakları ile belirleme çalışmasının sonuçları incelendiğinde, aşağıdaki genel bulgular sıralanabilir:

- Isı köprüsü oluşumunda değişkenlerin etkinliği, iç yüzey sıcaklığı ve yüzeysel yoğuşmaya neden olacak bağıl nem oranı ile ısı akış yoğunluğu değerlendirme ölçütlerine göre farklılaşmaktadır. Bu durumu; ısı köprüsü alanının toplam alana göre oransal olarak küçük olduğu durumda, düşük bir iç yüzey sıcaklığına neden olsa bile, toplamda ısı akış yoğunluğuna sınırlı düzeyde etki etmesi biçiminde açıklamak olanaklıdır.
- İç yüzey sıcaklığı ve yüzeysel yoğuşmaya neden olacak bağıl nem oranı ölçütüne bağlı olarak, "mertek ısıl iletkenliği" ve "dış hava sıcaklığı" en etkili değişken olurken, "mertek aralığı" en az etkili değişkendir.
- "ısı yalıtımı ısıl iletkenliği", 020 - 030 arası ısıl iletkenlik grubununda olması durumunda, ısı akış yoğunluğu ölçütüne bağlı olarak en etkili değişken olarak ön plana çıkmaktadır. "Isı yalıtımı ısıl iletkenliği" "040" grubunda sabit tutulduğunda ise, "mertek aralığı" en etkili değişken olurken, "mertek ısıl iletkenliği"en az etkili değişkendir.

Ele alınan örnekler ve yapılan kabuller bağlamında iskelet taşıyıcılı eğimli çatıların tasarımında "ısı köprüleri"nin olumsuz etkilerinden kaçınmak amacı ile aşağıda sıralanan ölçütlerin göz önünde tutulması yararlı olacaktır:

- Mertek malzemesi seçiminde ısıl iletkenlik katsayısı 0.15 W/mK den düşük malzemelerin seçilmesi.
- Dış hava sıcaklığının -20^{0}C'nin altında olduğu iklim bölgelerinde, ahşap mertek (0.13 W/mK) kullanılmış olsa bile, merteğin dış tarafında sürekli bir ısıl direncin öngörülmesi.
- Isı kayıplarını azaltmak açısından, taşıyıcılık ile ilgili koşullar izin verdiği düzeyde mertek aralıklarının 50cm' nin üzerinde seçilmesi.

KAYNAKLAR

1. Heindel, W., Krec, K., Panzhauser, E., Sigmund, A., *Wärmebrücken: Grundlagen, Einfache Formeln, Wärmeverluste, Kondensation, 100 Durchgerechnete Baudetails*, Wien: Springer Verlag, 1987.

2. Garratt, J., Nowak, F., *Tackling Condensation: A Guide to the Causes of, and Remedies for Surface Condensation and Mould in Traditional Housing.* Watford: Building Research Establishment, 1991.

3. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. *Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği*, 2008. [Erişim: 02.12.2013] https://www.csb.gov.tr

4. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. *Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği,* 2008. [Erişim: 02.12.2013] https://www.csb.gov.tr

5. Altun, M.C., Yapı Elemanları Birleşim Bölgelerinin Isıl ve Nem ile İlgili Performansı, *I. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi, Kongre Bildiriler Kitabı*, Cilt I, TMMOB Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent Şubesi, İstanbul, 09-11 Ekim 2002, ss. 224-235.

6. Hauser, G.,Stiegel, H., *Wärmebrücken-Atlas für den Holzb*au, Berlin: Bauverlag, 1992.

7. Hauser, G.,Stiegel, H., *Wärmebrücken Atlas für den Mauerwerksbau,*Wiesbaden: Bauverlag, 1993

8. Mainka, G.W., Paschen, H., *Wärmebrückenkatalog: Tafeln mit Temperaturverläufen, Isothermen und Angaben über zusätzliche Wärmeverluste,* Sttuttgart: B.G. Teubner, 1986.

9. Blomberg, T., *HEAT3 - PC Program for Heat Transfer in Three Dimensions - Manuel with Brief Theory and Examples*, Lund Group for Computational Building Physics (ISRN LUTVDG/TVBH—98/7206), Lund, 1999.

10. ASHRAE, "*ASHRAE Handbook – Fundamentals*", American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, 1989.

11. DIN 4108, *Wärmeschutz im Hochbau*, Teil 5, Deutsches Institut für Normung e.V., 1981, pp.58

12. ISO 10211-1, *Thermal Bridges in Building Construction-Heat Flows and Surface Temperatures-Part1: General Calculation Methods*, ISO, Genève, 1995.

13. TS 825, *Binalarda Isı Yalıtım Kuralları,*Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2009.

14. Lohmeyer, G, *Praktische Bauphysik*, Sttuttgart: B.G. Teubner, 1985, pp.198.

DIŞ ETKENLER SONUCU YAPILARDA OLUŞAN HASARLARIN NEDENLERİNİN BELİRLENMESİ

Araş. Gör. Seher Güzelçoban Mayuk[a]
Y. Doç. Dr. Erkan Avlar[b]
GYTE Mimarlık Fakültesi, Çayırova,Gebze, Kocaeli, 41400
YTÜ Mimarlık Fakültesi, Yıldız, Beşiktaş, İstanbul, 34349

ÖZET

Temelde bireylerin barınma gereksinimini karşılamak üzere üretilen yapılar; ısı, su, yangın, ses gibi etkenlerle karşı karşıyadır. Çoğunlukla dış ortamdan kaynaklanan bu etkenlere yönelik önlem alınmadığı koşullarda, yapıyı, kullanıcıyı ya da çevreyi olumsuz etkileyecek hasarlar ortaya çıkmaktadır. Bu tür hasarların önlenmesi için dünyada, yalıtım uygulamalarını kapsayan çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Avrupa Birliği'ne uyum sürecinde bulunan Türkiye'de de, yalıtım firmalarının sayısında ve kullanılan ürünlerin üretiminde artış yaşandığı ve yalıtım sektörünün gelişmekte olduğu görülmektedir. Bu gelişmelere karşın, yapılarda halen dış etkenlerin oluşturduğu hasarlarla karşılaşılması, Türkiye'de yalıtım konusunda yeteri kadar bilinçli olunmadığını göstermektedir.
Dış etkenlerin yapı ve yaşam için oluşturduğu olumsuzluklara karşı öncelikle, hasarı oluşturan kusurlar belirlenmelidir. Birbiriyle yakın ilişkili olan su ve ısı hasarları, dış etkenlerin oluşturduğu hasarların başında gelmektedir. Bu bağlamda, su ve ısı hasarlarının kusurları çalışma kapsamında incelenmektedir. Çalışmayla; dış etkenlerin yapılarda oluşturacağı hasarlar konusunda farkındalık yaratılması, gerek yapı üretim sürecinde yer alan meslek insanlarının ve firmaların, gerekse kullanım sürecinde yer alan bireylerin yalıtım konusunda bilinçlendirilmesi, yapılarda oluşabilecek hasarların azaltılması amaçlanmaktadır.

Anahtar sözcükler: Dış Etkenler, Su ve Isı Yalıtımları, Yapı Hasarları, Yalıtım Kusurları

ABSTRACT

Buildings, which are basically produced for providing sheltering function, generally face with various environmental factors like thermal, water, fire and noise. If required precautions are not taken in time for these factors, various failures in buildings, occupants or building environment can be seen. Different methods, which contain insulation applications, are used for preventing such failures in the world. Also, increasing number of insulation firms and production of materials produced in shows that there are some developments on insulation sector in Turkey, which is in adjustment process for European Union. In spite of these developments, encountering various building failures occured by environmental factors shows that there is not enough conscious in Turkey about insulation subject.
It is firstly required to specify the defects of building failures against the environmental factors' negative effects on building and life. Close building failures caused by water and thermal factors are the most important failures occured by environmental factors. So, the defects of water and thermal building failures are examined in this paper.
By this paper, it is aimed to raise an awareness about building failures occured by environmental factors, to make both specialists-firms in building production process and occupants in usage process conscious about insulation, to reduce building failures occured by environmental factors.

Key words: External Factors, Water and Thermal Insulations, Building Failures , Insulation Defects.

[a] e-posta adresi: sgmayuk@gyte.edu.tr
[b] e-posta adresi: eavlar@yildiz.edu.tr

1.GİRİŞ

Mimarlık mesleğinin temel amacı, kullanıcılar için uygun fiziksel ortamı sağlayan konfor düzeyi yüksek yapılar üretmektir. Ancak yapılar sürekli olarak dış etkenlerle karşı karşıyadır ve kullanıcılarını bu etkenlerden yeterli düzeyde koruması gerekmektedir. Bu amaca yönelik olarak öncelikle yapılar bu etkenlere karşı korunmalıdır.

Bununla birlikte, ısı, su, nem, yangın, ses gibi dış etkenlere karşı yeteri kadar korunamayan yapılarda etkenler, yapı kullanım sürecinde çeşitli hasarlara yol açmaktadır. Ortaya çıkan hasarların, yapıları, kullanıcıları ve çevreyi olumsuz yönde etkilediği görülmektedir. Birbirleriyle yakın ilişkili olan su ve ısı etkenleri sonucu ortaya çıkan hasarlar da, bu konuda sıklıkla karşılaşılan hasarlar niteliğindedir. Yapı ürünlerinde, yapılarda, kullanıcılar üzerinde, doğal ve yapma çevrede olmak üzere, çeşitli ölçeklerde ortaya çıkan hasarlar sonucu, yapı içi yaşam koşullarının olumsuz etkilenmesinin yanısıra, yapılarda kalıcı hasarlar da oluşabilmektedir. Özellikle betonarme sistemde etkisinin arttığı ve sağlık sorunları, yapısal sorunlar ve maddi hasarlar oluşturabilen su ve ısı etkenleri, deprem kuşağında bulunan Türkiye için oldukça önemlidir. Bu etkenlerin yapılarda hasar oluşturmasının engellenmesi ve oluşan hasarların çözümlenmesi gerekmektedir. Öte yandan, hasarların giderilmesi için uygulanan çözümlerin maliyeti yükselttiği ve zaman zaman yetersiz kaldığı bilinmektedir. Bu nedenle hasar oluşumunu engellemek için henüz tasarım aşamasındayken çözümler üretilmelidir.

Dış etkenlerin hasar oluşturmasını önlemek amacıyla dünyada yalıtım uygulamalarını kapsayan çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu amaçla, Avrupa Birliği'ne uyum sürecinde bulunan Türkiye'de de, yalıtım uygulamalarının arttığı ve yalıtım sektörünün gelişmekte olduğu söylenebilir. Türkiye'de yalıtım yapan firmaların sayısında ve yalıtımda kullanılan ürünlerin üretimindeki artış yaşanan gelişmelere örnek oluşturabilir. Bu gelişmelere karşın, yapılarda halen çeşitli hasarlarla karşılaşılması, Türkiye'de yalıtım konusunda yeteri kadar bilinçli olunmadığını göstermektedir. Türkiye'de hemen hemen her kullanıcı, yapı ölçeğindeki bu hasarlarla değişik biçim ve boyutlarda karşı karşıya kalabilmektedir **[1].**

Dış etkenlerin yapı ve yaşam için olumsuzluklar oluşturması, hasarlara karşı gerekli önlemlerin alınmasını gerektirmektedir. Bunun için öncelikle hasarı oluşturan kusurların belirlenmesi, gerek hasarların öneminin algılanması, gerekse hasarların önlenmesi açısından doğru bir yaklaşım olabilir. Diğer yandan, birbiriyle yakın ilişkili olan su ve ısı hasarları, dış etkenlerin oluşturduğu hasarların başında gelmektedir. Bu bağlamda, su ve ısı hasarlarının yapının tasarım, uygulama ve kullanım aşamalarından kaynaklanan kusurları çalışma kapsamında incelenmektedir.

Çalışmayla; başta su ve ısı olmak üzere dış etkenlerin yapılarda oluşturacağı hasarlar konusunda farkındalık yaratılması, gerek yapı üretim sürecinde yer alan meslek insanlarının ve firmaların, gerekse kullanım sürecinde yer alan bireylerin yalıtım konusunda bilinçlendirilmesiyle yapılar üzerinde oluşabilecek hasarların azaltılması amaçlanmaktadır.

2. DIŞ ETKENLERİN YAPILARDA OLUŞTURDUĞU HASARLARIN NEDENLERİ

Dış etkenlerin yapılarda oluşturduğu hasarları önlemek için hasarların neden kaynaklandığı bilinmelidir. Bu bağlamda, yapılarda oluşan su ve ısı hasarlarının başlıca nedenleri;

- Tasarım aşamasından kaynaklanan kusurlar,
- Uygulama aşamasından kaynaklanan kusurlar,
- Kullanım aşamasından kaynaklanan kusurlar olarak üç başlıkta ele alınabilir **[2].**

2.1. Tasarım Aşamasından Kaynaklanan Kusurlar

Yapı üretim sürecinin ilk aşaması olan tasarım aşamasında verilen kararlar, yapının servis ömrü ve kullanıcıların yaşam koşulları açısından oldukça önemlidir. Bu aşamada yapılacak hatalar ya da eksiklikler, kalıcı hasarlar oluşmasına neden olmaktadır. Dış etkenlerin yapılarda oluşturacağı hasarların tasarım aşamasından kaynaklanan kusurları;

- Dış etkenlere karşı gerekli önlemlerin alınmaması,
- Dış etkenlere karşı alınan önlemlerin eksik ya da hatalı olması şeklinde belirlenebilir.

2.1.1. Dış Etkenlere Karşı Gerekli Önlemlerin Alınmaması

Yapılarda dış etkenlere karşı gerekli önlemlerin alınmaması;

- Dış etkenlere karşı alınacak önlemler konusunda kullanıcı ve meslek insanlarının (tasarımcı, uygulayıcı ve denetleyiciler) yeterli bilince ve duyarlılığa sahip olmamaları,
- Yapılarda yalıtım yapılmasının yapım maliyetini artırması gibi çeşitli başlıklarla ilişkilidir.

2.1.2. Dış Etkenlere Karşı Alınan Önlemlerin Eksik ya da Hatalı Olması

Yapılarda dış etkenlere karşı alınan önlemlerin eksik ya da hatalı olması, detay çözümlerinde ve ürün seçiminde karşılaşılabilmektedir. Bu durum yapıları, dış etkenlere karşı korunmasız kılmakta ve hasar oluşumuna yol açmaktadır.

2.1.2.1. Eksik ya da hatalı detay çözümleri

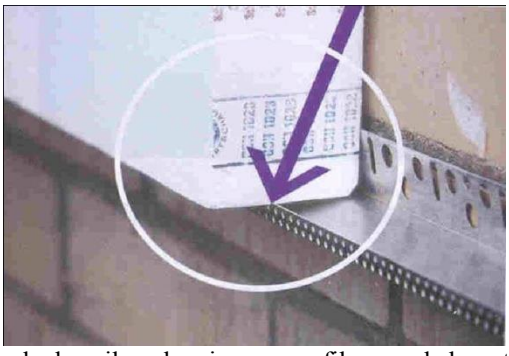
Yapı üretim sürecinde detay tasarımı oldukça önemli olup, eksik ya da hatalı tasarlanan detaylar yapılara zarar verebilmektedir. Örneğin, yağışlar etkisinde yapı kabuğunda tutulan suyu, en kısa zamanda yapıdan uzaklaştıracak detaylar tasarlanmalıdır. **Şekil 1**'de hatalı detaylandırma sonucu çatı döşemesinde ortaya çıkan hasarlar örneklenmektedir. Parapet ve döşeme kesitinde herhangi bir damlalık yoktur. Bu sebeple, döşemeden uzaklaştırılamayan su, yatayda yürüyerek çatı döşemesinde dökülmelere ve döşeme donatısında da korozyona neden olmuştur. Ayrıca, sıcaklık farkları ile oluşan gerilmeler ve rüzgâr etkisinde parapetin hasar gördüğü gözlenmektedir.



Şekil 1: Parapette hatalı detaylandırma sonucu oluşan dökülme ve korozyon **[4]**

2.1.2.2. Hatalı Ürün Seçimi

Türkiye'de yapı ve diğer inşaat mühendisliği işleri dahil olmak üzere tüm yapı işlerinde sürekli olarak kullanılmak amacıyla üretilecek yapı ürünlerinin taşıması gereken temel özellikleri, bu ürünlerin bulundurması gereken uygunluk değerlendirme koşulları, piyasa gözetimi ve denetimi işlemleri ile ilgili usul ve esasları belirlemek amacıyla çıkarılmış bir "Yapı Malzemeleri Yönetmeliği" bulunmaktadır **[4]**. CE işaretini taşıyan ürünlerin, yönetmelikte istenen teknik özellikleri taşıdığı kabul edilmektedir **[4]**. Bununla birlikte, "Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği" ve "TS 825-Binalarda Isı Yalıtım Kuralları"nda yapılarda kullanılması gereken ısı yalıtım ürünlerinin özellikleri ve boyutlarını belirlemeye yönelik yöntemler açıklanmaktadır. Bu durumda, yönetmelik ve standartlarda belirtilenlere göre kabul görmemiş ürünlerin yapılarda kullanılması, ürün seçiminde yapılan temel hatalardandır. Benzer şekilde özellikle, su ve ısı etkenlerine karşı birbiriyle uyumlu çalışmayan ve su buharı geçirgenlikleri, su emme değerleri, yapışma ve kopma değerleri, genleşme ve daralma gibi özellikleri ile boyutları birbirine uymayan ürünlerin birlikte kullanılması, ürün seçiminde yapılan bir başka hatadır **(Şekil 2).**



Şekil 2: Isı yalıtımı levhası ile galvanize saç profil arasında boyut uyumsuzluğu **[4]**

2.2. Uygulama Aşamasından Kaynaklanan Kusurlar

Yapı üretim sürecinin ikinci aşaması olan uygulama aşaması da yapılar ve kullanıcılar açısından oldukça önemli olup, tasarım aşamasında alınan kararların bu aşamada doğru uygulanması gerekmektedir. Ancak genelde ülke ölçeğinde yapım kalitesinin düşük olması ve yalıtım için alınacak önlemlerin uygulanmamasının yapıyı bitirmeye bir engel oluşturmaması, yalıtım kararları konusunda eksik uygulamalara neden olabilmektedir **[3]**.
Uygulama aşamasında yapılan eksiklerin ve hataların giderilmesi tasarım aşamasındakiler kadar kolay olmamakla birlikte, sonraki aşamalarda çeşitli hasarlara yol açabilmektedir. Dış etkenlerin yapılarda oluşturacağı hasarların uygulama aşamasından kaynaklanan kusurları;

- Yalıtım ürünlerinin uygulanmaması,
- Yapı ürünlerinin eksik ya da hatalı uygulanması olarak belirlenebilir.

2.2.1. Yalıtım Ürünlerinin Yapılarda Uygulanmaması

Dış etkenlerin yapılarda hasar oluşturmaması amacıyla yapının tasarım aşamasında gerekli önlemler belirlenmiş ve detaylar çözümlenmiş olabilir. Ancak alınan kararlar, uygulama aşamasına gelindiğinde uygulayıcılar ya da işveren tarafından gözardı edilmektedir. Maliyet ve denetim eksikliği ile ilişkili olarak açıklanabilen bu duruma maliyet açısından bakıldığında;

- İşverenin uygulama aşamasında yalıtım yaptıracak olanağı olmayabilir,
- İşverenin böyle bir olanağı vardır ancak, bu aşamada bunu gereksiz görebilir,
- Uygulayıcı projede olsa bile yalıtımı yapmayabilir gibi olasılıklar ortaya çıkabilmektedir.

Benzer şekilde, uygulama aşamasında yapının projede belirtilenlere göre yapılıp yapılmadığının denetlenmemesi nedeniyle yalıtımlar yapılarda uygulanmamaktadır.

2.2.2. Yapı Ürünlerinin Yapılarda Eksik ya da Hatalı Uygulanması

Dış etkenlere karşı yapının tasarımı sırasında gerekli önlemlerin alınmaması nedeniyle ya da alınması ve uygulanmasına rağmen yapılarda hasarlar oluşabilmektedir. Özellikle önlem alınmasına rağmen ortaya çıkan hasarların temel nedeni, uygulama sırasında yapı ürünlerinin çoğunlukla, teknik koşullarına uyulmaksızın, eksik ya da hatalı uygulanmasıdır. Bu tür uygulamalar; tasarım aşamasından yansıyan eksiklik ve hatalar, yetersiz işçilik, ürün depolamadaki eksiklik ya da hatalar ve denetim eksikliğinden kaynaklanmaktadır.

2.2.2.1. Tasarım Aşamasından Yansıyan Eksiklik ve Hatalar

Yapıların tasarım aşamasında, dış etkenlere karşı gerekli önlemlerin alınmaması ile yapılarda uygulanmayan ve eksik kalan ürün ya da çözümler, yapılarda hasar oluşturabilmektedir. **Şekil 3**'te, bu sebeple yapıda oluşmuş bir su hasarı örneklenmektedir.



Şekil 3: Çatıda su yalıtımı uygulanması sonucu yapının su alması

Burada, yağışların en etkin olduğu yapı bölümü olan çatıda su yalıtımı uygulanmaması sonucu, sular diğer yapı elemanlarına ulaşmıştır. Dolayısıyla, duvarda ve döşemede ıslaklığa neden olmuştur. Bu durum, kullanıcının görsel konforun bozulmasının yanısıra, yapının taşıyıcısının da zarar görmesine neden olmaktadır.

2.2.2.2. Yetersiz İşçilik

Tasarım sırasında doğru kararlar alınmış olmasına karşın, bilgi ve deneyim eksikliği, dikkatsizlik gibi kusurlarla yapılan eksiklik ya da hatalar yapılarda hasarlar oluşturabilmektedir. Yetersiz işçilik olarak adlandırılabilen bu kusurlar;

- Yalıtım ürünlerinin birleşimlerinin çözümlenememesi,
- Uygulama yapılacak zeminde, ürün uygulamasına yönelik hazırlık yapılmadan uygulamaya geçilmesi,
- Isı yalıtım ürünlerinde açılması gerekli boşluklarda, gereğinden fazla boşluk açılması,
- Ürünlerin montajında ya da ek yerlerinde kullanılan malzemelerin doğru biçimde uygulanmaması gibi eksiklik ya da hatalar olarak sıralanabilir.

Şekil 4'te benzer kusurlarla ortaya çıkmış bir hasar örneklenmektedir. Cephe kaplamasının altına ısı yalıtım levhaları yerleştirilmiş ancak, ürünlerin cepheye montajının hatalı yapılması sonucu levhalarda dökülmeler başlamıştır.



Şekil 4: Montaj hatası nedeniyle cephe kaplamasındadüşme **[4]**

2.2.2.3. Ürün Depolamadaki Eksiklik ya da Hatalar

Tasarım sırasında doğru kararlar alınmış ya da uygulamada titiz çalışılmış olmasına karşın, yapı ürünlerinin yapım sürecinde ya da öncesinde uygun koşullarda depolanmamış olması nedeniyle yapılarda çiçeklenme, ısı kayıplarının artması gibi hasarlar gözlenebilmektedir **(Şekil 5)**.



Şekil 5: Yapılarda uygulama aşamasında ürünlerin hatalı depolanması **[4]**

Yapılarda kullanılacak ürünler taşıdıkları özelliklere göre;

- Yağmur, güneş gibi dış etkenlerden korunarak,
- İstiflenecekse, kuru, temiz ve düzgün bir zeminde istiflenerek,
- Kırılıp, bükülmeden ya da atılmadan,
- Boyutları dikkate alınarak depolanmalıdır.

2.2.2.4. Denetim Eksikliği

Tasarım sırasında doğru kararlar alınmış olmasına karşın, uygulama aşamasında yapılan işlerin projeye uygunluğu ya da işçiliğin niteliği denetlenmeyebilmektedir. Bu sebeple, ileride yapılarda çeşitli hasarlarla karşılaşılabilmektedir.

2.3. Kullanım Aşamasından Kaynaklanan Kusurlar

Yapıların tasarım ve uygulama aşamalarında, dış etkenlere karşı her türlü önlem alınmış olabilir. Ancak yapılarda;

- Tasarım ve uygulama aşamalarından yansıyan eksiklik ve hatalar,
- Yapılar ve/veya yapı ürünlerinin hatalı kullanılması, gibi kullanım aşamasından kaynaklanan kusurlarla da hasarlar ortaya çıkabilmektedir.

2.3.1. Tasarım ve Uygulama Aşamalarından Yansıyan Eksiklik ve Hatalar

Yapıların tasarım ya da uygulama aşamalarından yansıyan eksiklik ve hatalar nedeniyle, kullanım aşamasında yapılarda çeşitli hasarlarla karşılaşılabilmektedir.
Şekil 6'da, betonarme sistemle yapılmış bir fabrika binasının betonarme bodrum kat döşemesinde oluşan su hasarı örneklenmektedir. Tuzla'da yer alan bu yapının temeli iki yönde sürekli olarak tasarlanmış ve uygulanmıştır. Yapının tasarımı sırasında suya karşı temelde yalıtım önlemi alınmış olup, bunun uygulaması yapılmıştır. Ancak tasarım sırasında, sadece zemine oturan temellerin çevresinde su yalıtımı kurgulanmış ve yalıtımın sürekliliği döşemede sağlanmamıştır. Dolayısıyla hem tasarımdan yansıyan eksiklikler, uygulamaya ve son olarak kullanım aşamasına ulaşarak hasara neden olmuştur.



Şekil 6: Zemine oturan, yalıtımsız bodrum kat döşemesinden sızan sular **[4]**

2.3.2. Yapıların ve/veya Yapı Ürünlerinin Hatalı Kullanılması

Yapıların tasarım ve uygulama aşamalarında önlemler alınmış olmasına rağmen, bakım eksikliği, yapılarda onarım hataları ve kullanıcılar tarafından doğru bilinen yanlışlar gibi kullanım aşamasından kaynaklanan kusurlar, alınan önlemleri yetersiz bırakabilmektedir.

2.3.2.1. Bakım Eksikliği

Yapıların bakımının yapılması ve ortaya çıkan hasarların erken tespiti, yapılarda hasar oluşmaması ya da oluşan küçük hasarların çözümlenebilmesi açılarından önemlidir. Bu da, yapı ve/veya yapı ürünlerin bakım sıklıkları ile ilişkili olarak gerçekleşebilmektedir.
Türkiye'de çoğu yapı ve/veya yapı ürününde ilk yapımdan sonra uzun bir süre bakım yapılmadığı ve özellikle yasadışı konut üretiminde, kullanım ve uygulama aşamalarının içiçe geçtiği gözlenmektedir. Bu durumsa, yapılarda oluşan hasarların geç olmadan belirlenmesini ya da çözümlenmesini zorlaştırmaktadır.



Şekil 7: Bakım eksikliği nedeniyle yapıda oluşmuş hasarlar **[4]**

Şekil 7'de, bakım eksikliği bulunan bir konut yapısı görülmektedir. Yapı cephesinin son kat kaplamasının ince sıva olarak bırakıldığı ve yapıyı dış etkenlere karşı koruyacak herhangi bir önlemin cephede alınmadığı gözlenmektedir. Dolayısıyla yapı cephesinden uzaklaştırılamayan su, ısı etkenlerinin de etkisiyle cephe kaplamasında dökülmelere ve yapıda ısı kayıplarına neden olmaktadır. Bu durumsa, kullanıcılar açısından sağlıksız ortamlar, yapı açısından çeşitli hasarlar oluşturmaktadır.

2.3.2.2. Onarım Hatası

Dış etkenlerin yapılarda oluşturduğu hasarlar, kullanım aşamasında yapılan onarım hataları nedeniyle de ortaya çıkabilmektedir. Genellikle teknik bilgi eksikliği ve dikkatsizlikten kaynaklanan bu tür durumlar özellikle, su ve ısı yalıtımlarının sonrasında yapılan onarımlarda sıklıkla yaşanmaktadır.

- Çatıya anten takmak için kullanılan çivilerin su yalıtım ürünlerinde delik açması,
- Çatıya çıkan ustanın ağırlığını taşıyamayan çatı örtüsünün eğilip bükülmesi ya da kırılması,
- Yalıtım ürünlerinin yapının bir cephesinde uygulanıp tamamında uygulanmaması

gibi durumlar onarım hataları olarak örneklenebilmektedir.

2.3.2.3. Doğru Bilinen Yanlışlar

Tasarımcı, uygulayıcı ya da kullanıcılar tarafından;

- Dış cephe sıvasının su yalıtımı sağlayabileceği,
- Isı yalıtım ürünlerinin sürülerek uygulandığı,
- Sıcak iklim bölgelerinde ısı yalıtımına gerek olmadığı,
- Duvarlarında yapı ürünü olarak gazbeton kullanılan yapılarda ısı yalıtımına gerek olmadığı,
- Yapıların genelde kuzeyden su aldığı ve bu durumda kuzey cephesine yapılacak su yalıtımın yeterli olacağı,
- Dış cephe kaplama ürünü olarak kullanılan cam mozaik, pvc, alüminyum gibi ürünlerin ısı yalıtımı işlevini yerine getirdiği,
- Yapının teras çatıdan su alması durumunda yapılacak seramik kaplamanın bu soruna çözüm olabileceği

gibi doğru olduğu kabul edilen yanlışların düzeltilmemesi, yapılarda dış etkenlerin hasar oluşturmasına neden olmaktadır **[4].** Ancak yukarıda belirtilen yanlışların düzeltilmesi için;

- Yapının dışarıdan su aldığı durumlarda, yapıyı etkileyen suyun ne olduğunun bilinmesi ve buna göre bir ürünün ve çözümün seçilmesi gerektiği,
- Son yıllarda sürülerek uygulanmaya başlanan yansıtıcılı nano kaplamalar olmasına rağmen, ısı yalıtım ürünlerinin çoğunlukla yönetmeliklerde belirtilen yöntemlerle hesaplanan kalınlıklarda ve şekillerde uygulanması gerektiği,
- Yapılarda ısı yalıtımının sadece ısınma amacıyla değil soğutma amacıyla da yapıldığı,
- Gazbeton yapı ürününün ısıl performansı açısından uygunluğunun, yapının bulunduğu iklim bölgesi, yapı adası içindeki yeri, yönü, şekli, cephe saydamlık oranı gibi çeşitli etkenlerin ortak etkisi sonucu değişebildiği,
- Yapılarda yapılacak olan su ya da ısı yalıtımlarının bir bütün olarak ele alınması gerektiği ve bölgesel çözümlerin işlevsiz olduğu,
- Su ve ısı etkenleri sonucu taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan korozyon, çürüme gibi hasarların taşıyıcı sistem dayanımında olumsuz etki yarattığı,
- Yapılarda su ve ısı yalıtımının birlikte ele alınarak, yalıtımlarının bilinçli, eğitimli ekipler tarafından yapılması gerektiği bilinmelidir.

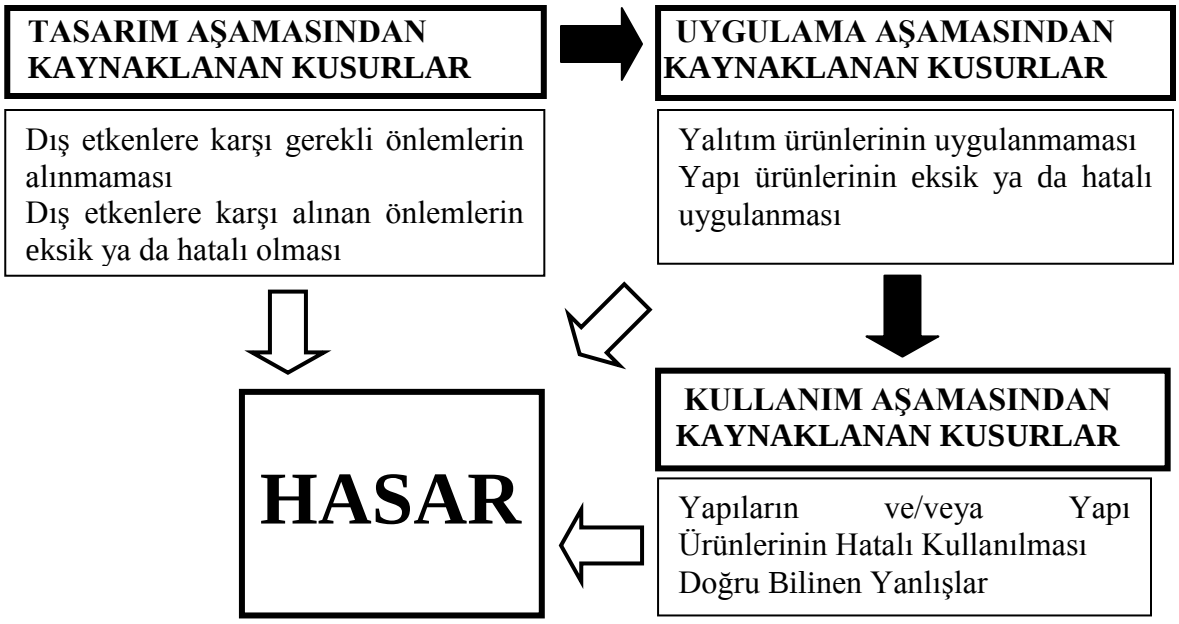
Şekil 8'de doğru bilinen yanlışlardan biri örneklenmektedir. Burada yapının su ve ısı etkenlerinden en çok etkilenen cephesinde yalıtım uygulamasının yapılmış ancak hem doğru yalıtım ürünü seçilmemiş hem de yalıtım yarıda kesilmiştir. Ayrıca yalıtım ürünü, dış etkenlerin oluşturabileceği zararlara maruz bırakılmıştır.



Şekil 8: Hatalı bir su yalıtımı uygulaması **[4]**

3. SONUÇLAR

Yapılar, özellikle yapı kabukları, başta su ve ısı etkenleri olmak üzere çeşitli dış etkenlerle karşı karşıyadır. Bu etkenlere karşı gerekli önlemler alınmadığı durumlarda ise etkenlerin, yapı ürünlerinde, yapılarda, kullanıcı üzerinde, doğal ve yapma çevrede hasar oluşturduğu gözlenmektedir. Özellikle deprem bölgesi olan Türkiye'de bodrum ve zemin katlardaki betonarme taşıyıcı sistemde korozyon nedeniyle oluşan hasarlar istenmeyen sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Yapının tasarım, uygulama ve kullanım aşamalarından kaynaklanan çeşitli nedenlerle, dış etkenlerin ortaya çıkardığı hasarları, hasarların kusurlarını ortadan kaldırarak çözmek mümkündür. Böylece, yapı ve kullanıcılar açısından sağlıklı koşullar oluşturulabilir.
Öte yandan yapılarda, tasarım, uygulama ve kullanım aşamalarından kaynaklanan kusurlar birbirini etkilemektedir (**Şekil 9**). Yapılarda oluşan hasarları önlemede öncelikle, yapı üretim sürecinin ilk aşaması olan tasarım aşamasında gerekli önlemlerin alınması önem kazanmaktadır. Dolayısıyla, ilerleyen çalışmalarda bu yaklaşıma yönelik önerilerin getirilmesi faydalı olacaktır. Türkiye'de bu önlemlere destek veren ve sorunu, tasarım ve uygulama aşamalarında çözmeye yönelten bir bilinç oluşturulmalıdır. Bu bağlamda, bilinçsiz yapılaşmanın gözlendiği ve yeterli denetimin yapılmadığı günümüzde, konuyla ilgili bilgiler öğretim aşamasında ayrıntılı bir biçimde verilmeli ve mesleki eğitim alan bireyler bu anlamda bilinçlendirilmelidir.



Şekil 9: Yapılarda kusur-hasar ilişkileri

KAYNAKLAR

1. E. Avlar, "Yapılarda Oluşan Su Sorunları", Mimarlık Bülteni, Mimarlar Odası Samsun Şubesi, 30, ss. 8 – 12, 2012.
2. E. Avlar, "Yapılarda su ve nem korunumu", Yıldız Teknik Üniversitesi Basım/Yayın Merkezi, 2000.
3. E. Avlar, "Binalarda Oluşan Su Sorunları ve Sonuçları", Yapıda Yalıtım Konferansı ve Paneli, Makine Mühendisleri Odası, İstanbul, 11 – 12 Şubat 1999, ss. 77 – 89.
4. F. Baytop, "İnşaat Uygulamalarında Yanlışlar Doğrular", YEM, 2006.
5. S. Güzelçoban, "Yapılarda su ve ısı etkenleri, oluşturduğu sorunlar, nedenleri ve çözüm önerileri", Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2007.

MÜZE VE SERGİ MEKANLARINDA AYDINLATMA PRENSİPLERİNİN ÖRNEK UYGULAMALAR ÜZERİNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

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

ÖZET

Müze ve sergi mekanlarında aydınlatma tasarımı, eserlerin algılanmasının sağlanması ve ışıktan zarar görmesinin önlenmesinin yanı sıra ziyaretçilerin görsel konforunu ve bazı durumlarda içinde bulunulan binanın da bir eser olarak algılanmasını doğrudan etkileyen bir unsurdur. Günümüz müze ve sergi yapılarında aydınlatma tasarımı giderek daha da önemsenen bir konu haline gelmiştir. Bu çalışmada, müze ve sergi yapılarında aydınlatma prensipleri araştırılarak uluslararası standartlarda sergi objelerinin ışık duyarlılıklarına göre sağlanması gereken maksimum ve minimum aydınlık düzeyi değerleri incelenmiştir. Araştırma konusu olarak seçilen Pera Müzesi Sophia Vari ve Sabancı Müzesi Anish Kapoor süreli sergilerinin aydınlatma tasarımı uygulamaları, bina mimarisiyle bütünleşme, verilmek istenen görsel etki ve sergilenen objelerin ışığın zararlı etkilerinden korunması açılarından değerlendirilmiştir. Sergilerin belirli bölümlerinde farklı şekillerde aydınlatılmış eserlerin üzerindeki aydınlık düzeyi değerleri ölçülerek, standartlarda verilen değerlerle karşılaştırılmış, bunun yanında sergi objelerinin üzerindeki ışığın dağılımının cisim algılanmasındaki etkisi incelenmiştir.

Anahtar sözcükler: Aydınlatma, Müze, Sergi Objeleri

ABSTRACT

EVALUATION OF LIGHTING PRINCIPLES IN MUSEUM AND EXHIBITION AREA EXAMPLES

Lighting design is a factor that affects visual comfort of visitors and perception of the museum building as a work of art as well as affecting perception and preserving of an exhibition object. Today, lighting design has become vital issue in museum and exhibition buildings. In this study, lighting principles in museum and exhibition buildings are investigated and maximum and minimum values of illuminance that should be obtained according to the international standards are given. Lighting designs of case studies which are Sophia Vari in Pera Museum and Anish Kapoor in Sabancı Museum exhibitions are investigated in terms of integrating with the architecture of building, visual comfort and preserving. Illumination levels of the objects, which are illuminated by varied systems and located in different parts of museum are evaluated and compared with the levels that were given in the standards. Meanwhile effect of the light distribution on perception of the exhibition objects is investigated.

Key words: Lighting, Museum, Displayed Object

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

1. GİRİŞ

Müzeciliğin ilk yıllarında amaç, eserleri bol ışık altında sergilemek olmuştur. Bu sebeple günışığı bina içine alınarak sergilenen eserler aydınlatılmıştır. Müze mimarisinin gelişim ve değişim süreci içerisinde, aydınlatma kriterleri de değişim göstermiştir [**1**]. 18. ve 19. yüzyıl mimarisinde, güneş ışığının daha rahat kontrol edilebilmesi için güneş ışığını direkt olarak mekan içine alan pencerelerin sayısı azaltılmış, günışığının endirekt olarak alındığı tepe ışıklıkları, yüksek pencereler ve yansıtıcı ekranlar kullanılmıştır. 20. yüzyılın ortalarında objenin zararlı ışınlardan korunması önem kazanmış, bu bağlamda mekan içindeki günışığının etkili bir şekilde kontrolü ve yapma aydınlatma kullanımı gerçekleşmiştir. Gelişen teknoloji ve gitgide tükenen kaynaklar sebebiyle enerji tasarrufu gereksinimleri göz önünde bulundurularak günışığının aktif bir şekilde kullanımı öngörülmüştür [**2**]. Böylece gerekli aydınlık düzeyinin sağlanması, görsel konfor ve eserlerin korunumu mümkün olmuştur. Yapılan çalışmada sergi objelerinin ışık duyarlılıklarına göre sağlanması gereken aydınlık düzeyi değerleri incelenmiş, çağdaş müze örneklerinin aydınlatma sistemleri üzerinden bina mimarisiyle bütünleşme, verilmek istenen görsel etki ve sergilenen objelerin ışığın zararlı etkilerinden korunması durumları tartışılmıştır. Örnek projeler olarak Pera Müzesi Sophia Vari ve Sabancı Müzesi Anish Kapoor süreli sergileri üzerinde çalışılmıştır.

2. MÜZE VE SERGİ MEKANLARININ AYDINLATILMASINDA TEMEL İLKELER

Müzeler sanat ve bilim eserlerinin ya da nesnelerin saklandığı, korunduğu, sürekli veya geçici olarak sergilendiği yapılardır. İçerdikleri koleksiyonlara göre sanat müzeleri, modern sanat müzeleri, arkeoloji ve tarih müzeleri, etnografya müzeleri, doğa tarihi müzeleri ve bilim ve endüstri müzeleri olarak gruplandırılabilirler [**3**]**.** "Müze" sözcüğü ilk defa 16. yüzyıl ortalarında İtalya'da "Medici" ailesine ait bir koleksiyonun tanıtılmasında kullanılmıştır. 1750 yılında tarihi sanat eserlerinden oluşan krallığa ait bir koleksiyonun halka gösterilmesi amacıyla kurulan Lüksemburg Müzesi dünyanın ilk resmi müzesidir [**4**]**.**

Müze ve sergi mekanlarının aydınlatılmasındaki en önemli etmenlerden biri objedir. Objenin ışığa karşı duyarlılığına göre aydınlık düzeyi değerleri belirlenir. Mekan içine alınan günışığı gün içinde değişken olduğu için müze ve sergi alanlarının aydınlatmasında etkili bir şekilde kontrol edilmelidir. Günışığına maruz kalmaması gereken objelerin üzerine gelecek ışık engellenmelidir. Doğru kurgulanmış bir doğal aydınlatma sistemi binanın enerji tasarrufunu ve sürdürülebilirliğini sağlar. Aksi halde enerji kullanımı artar, kontrol edilemeyen parıltılar oluşur ve eserlerin zarar görüp bozulmasına sebep olunur [**5**]**.**

Günümüz müze ve sergi alanlarında aydınlatma sistemi, binanın mimarisi ve ziyaretçi üzerinde yaratılmak istenen etkiyle bir bütün olarak tasarlanmaktadır. Gün içinde bina içine alınan güneş ışığını kontrol etmek ve ışığın yapı içinde dağılımını düzenlemek oldukça zordur ve binanın mimari tasarımı ile birlikte düşünülmüş bir kontrol sistemi gerektirir. Işık duyarlılığı fazla olan objelerin aydınlatılmasında kontrolün daha kolay sağlanması sebebiyle yapma aydınlatma sıklıkla tercih edilmektedir. Özellikle süreli sergilerde loşlaştırılabilen, reflektörü değişebilen, açısı ayarlanabilen armatürler kullanılmaktadır. Esnek bir aydınlatma tasarımı ile değişen eser türü ve sergi düzenine adaptasyon rahatlıkla sağlanabilmektedir. Günışığı alan yapılarda ise alternatif otomasyon sistemleri ve tamamen açıklığı kapatacak seçenekler geliştirilmiştir. Müze ve sergi

mekanlarında aydınlatma tasarımı, sergilenen objelerin korunmasını ve ziyaretçinin görsel konforunu sağlarken, binanın mimari tasarımı ile bütünleşmelidir.

2.1. Sergilenen Obje Açısından Aydınlatma Tasarımı İlkeleri

Bu bölümde aydınlatma tasarımı, objenin ışık duyarlılığı ve tipi kriterlerine göre incelenmiştir.

2.1.1. Sergilenen Objelerin Işık Duyarlılıklarına Göre Sınıflandırılması

Müze yapılarında bölümlere ve sergi objesinin cinsine göre sağlanması gereken aydınlık düzeyi değerleri değişmektedir. Sergi objeleri ışığa duyarlılıklarına göre ışığa çok duyarlı, az duyarlı ve ışığa duyarlı olmayan objeler olarak sınıflandırılır. Duyarlılık sınıflarına göre objelerin listesi **Çizelge 1**'de verilmiştir [**6**]. **Çizelge 2**'de ise objelerin zarar görmeden aydınlatılabileceği üst sınır aydınlık düzeyleri verilmiştir. IESNA standartlarında belirtildiği üzere sağlanması gereken minimum ve maksimum aydınlık düzeyi gözlemci yaşına ve görme potansiyeline göre değişir. Bu sınıflandırmaya göre belirlenmiş objelerin zarar görmeden aydınlatılabileceği aydınlık düzeyi değerleri **Çizelge 2**'de verilmiştir [**6**].

Çizelge 1: Objelerin duyarlılık sınıfları [**6**]

Işığa Duyarlılık	Obje
Çok duyarlı obje	kitap, giysi, pamuk, çizim, yazı, boyanmış deri, hassas boya çeşitleri, kağıt, ipek, bazı fotoğraf çeşitleri, pullar, tekstil ürünleri, duvar kağıtları, yün
Az duyarlı obje	kemik, inci, deri, yağlıboya, kimi plastikler, fotoğraflar, kalıcı boyalı tekstiller, ahşap işleri
Duyarlı olmayan obje	seramik, cam, mücevherler, metal işleri, çoğu mineraller, taş, ahşap

Işığa duyarlı objeler mümkün olduğunca loş ortamda tutulmalıdır. Bunun yanında ısı ve nem kontrolü de sergi objesinin korunumu için önemlidir. Aydınlık düzeyi ve eserin ışığa maruz kalma süresi dengeli bir şekilde düzenlenmelidir. Bu süre, zamanlayıcı ve sensörle minimize edilebilir. Günışığı kullanımı ancak ışığa duyarlı olmayan objelerin sergilendiği alanlarda günışığının sistematik kontrolünün sağlanmasıyla mümkün olabilir. Direkt güneş ışığı objeye kısa sürede zarar verir [**6**].

Çizelge 2: Sergi objelerinin ışık duyarlılık sınıfına göre istenen aydınlık düzeyleri [**6**]

Sergi Objeleri	Yatay düzlemde aydınlık düzeyi (lux)			Düşey düzlemde aydınlık düzeyi (lux)		
	gözlemci yaşına göre			gözlemci yaşına göre		
OBJE DUYARLILIĞI	<25	25-65	>65	<25	25-65	>65
ışığa çok duyarlı objeler	25	50	100	25	50	100
ışığa az duyarlı objeler	100	200	400	100	200	400
ışığa duyarlı olmayan objeler	500	1000	2000	500	1000	2000

2.1.2. Sergi Objesi Tipine Göre Aydınlatma Tasarımı

Objelerin aydınlatılmasında istenen aydınlık düzeyi değeri belli bir yatay, düşey veya eğimli düzlem üzerinde sağlanır. Yönlendirilmiş aydınlatmanın obje üzerindeki etkisi, nesnenin formuna ve parlak, mat, dokulu gibi yüzey özelliklerine göre farklılık gösterir. Yüzey çeşitliliğine göre obje üzerindeki ışığın vurgusu ve gölgelerin belirginliği, boyut hissi değişir [**7**].

2.1.2.1. İki Boyutlu Eserlerin Düşey Düzlemde Aydınlatılması

İki boyutlu eserler, düşey düzlemde sergilenen tablolar ve düz yüzeyli sanat eserleridir. Kimi durumlar haricinde tavana monte edilmiş yönlendirilebilir armatürler ya da wallwasher armatürlerle aydınlatılırlar. Bazı durumlarda ise zemin üzerine yerleştirilmiş armatürlerle aydınlatma tercih edilebilir. İki boyutlu eserlerin aydınlatılmasında genelde ışığın homojen dağılımı istenir. Eser üzerinde farklı noktalardaki aydınlık değerleri birbirine yakın olur.

2.1.2.2. Üç Boyutlu Objelerin Aydınlatılması

Üç boyutlu objelerin aydınlatılmasında objenin form ve renginin istenen şekilde algısında vurgu ve gölge çok önemlidir. Derinlik hissinin verilebilmesi, malzeme özelliklerinin anlaşılabilmesi için genelde farklı açılarda yerleştirilmiş, farklı miktarda ışık veren armatürler kullanılır. Objenin tüm yüzeylerinde aynı aydınlık düzeyinin parıltıya sebep olmadan homojen bir şekilde sağlanması pek mümkün değildir [**7**]. Yönlendirilmiş aydınlatmanın bir nokta üzerinde oluşturduğu aydınlık düzeyi armatürün hesap düzlemi ile yaptığı açı ile doğrudan ilgilidir. Işığın geliş yönü, aydınlık vektörü ile belirlenir. Aydınlık vektörünün yatay düzlemde yaklaşık olarak 15º-45º olması beklenir. Bu şartlar, gün boyunca pencere açıklıklarıyla sağlanabilir. Yapma aydınlatmada ise bu sebeple daha çok tavana monte edilmiş, açısı değişebilen armatürler tercih edilir [**7**].

2.2. Ziyaretçinin Görsel Performansı Açısından Aydınlatma Sisteminin Ele Alınması

Ziyaretçinin mekan ve teşhir objesini istenen şekilde algılaması ve görsel konforun sağlanması müze ve sergi mekanı aydınlatmasında önemli bir etmendir [**2**]. Ülkemizdeki müzelerde nesne odaklı yaklaşımdan, ziyaretçi odaklı yaklaşıma yeni yeni geçilmektedir. Işığa çok duyarlı objelerin sergilendiği alanlarda genellikle standartlarda belirlenen aydınlık düzeyinin alt sınır değeri ile, sadece objenin aydınlatılması söz konusudur. Ancak bu durumlarda ziyaretçinin rahatça yön bulması, nesneyi ve mekanı algılayabilmesi de göz ardı edilmemelidir.

2.3. Binanın Mimari Tasarımı ve Aydınlatmanın Bir Bütün Olarak Ele Alınması

İlk müzelerde ana fonksiyon sanat eserlerini sergilemek olmuştur. Bu sebeple genelde mekanlar dikdörtgen planlı, tepe ışıklıklı ve tüm duvarlarında eserlerin sergilendiği kapalı kutular şeklindedir. Günümüzde ise sergileme fonksiyonuna eğitimsel ve sosyal fonksiyonlar katılmış, müze tasarımı deneyimsel bir boyut kazanmıştır [**1**]. Müze binaları mimari tasarımlarıyla sanat eseri niteliğinde olup en az sergilenen objeler kadar dikkat çekmekte ve teşhir objesi niteliği taşımaktadır. Bu durumda müze aydınlatması sadece iç mekanda objelerin aydınlatılması olarak değil, müzenin kendisini de bir ikon olarak değerlendirerek içeriden ve dışarıdan algısının en etkili şekilde sağlanması olarak düşünülmelidir.

3. ÖRNEK UYGULAMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Pera Müzesi ve Sakıp Sabancı Müzesi'nde belli eserler üzerinde aydınlık düzeyi ölçümleri yapılarak standartlarda verilen değerler ve sergilenen eserlerin algılanışı tartışılmıştır. Değerlendirme yapmak üzere seçilen iki boyutlu eserlerde sırasıyla üst, orta, alt, sağ ve sol noktalarında; üç boyutlu eserlerde ise üst, orta, alt, sağ, sol ve arka noktalarında Konica Minolta Illuminance Meter T-10M ile aydınlık düzeyi ölçümü yapılmıştır. **Şekil 1'de** Sophia Vari ve **Şekil 2**'de Anish Kapoor sergi mekanları görülmektedir.



Şekil 1: Pera Müzesi Sophia Vari sergisi
(Fotoğraf: G. Erdemir)



Şekil 2: SSM Anish Kapoor sergisi
(Fotoğraf: G. Erdemir)

3.1. PERA Müzesi Sophia Vari Sergisi Üzerinden Değerlendirme

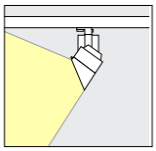
Bu bölümde Pera Müzesi Sophia Vari sergisinin 4. ve 5. katlarında olmak üzere iki bölümünde, eserler üzerinde aydınlık düzeyi ölçümleri yapılarak elde edilen değerler ve verilmek istenen etki tartışılmıştır.

3.1.1. Sophia Vari Süreli Sergisi Hakkında Genel Bilgiler

Vari'nin heykel ve resimlerini bir araya getiren Marisa Oropesa ve Maria Toral'ın küratörlüğünde hazırlanan sergide sanatçının sanatındaki zamansızlığa vurgu yapılmıştır. Sergide geometri, hacim ve şekilleri insansılaştırma amacıyla, ağır mermer, bronz ve çeşitli kıymetli madenlerden oluşan malzeme çeşitliliğiyle yapılmış heykellerin yanı sıra kolaj ve boyamalarla hacim, katman ve yüzeyler arası ilişkiyi sorgulayan tuvaller yer almaktadır. Sergi genelinde mantıksalla duyusal olanı, düz ve hacimliyi biraraya getirerek zamansızlık refere edilmiştir. Objelerin aydınlatılmasında bu amaçlara bağlı kalınarak yüzey-hacim-boyut algısı vurgulanmaya çalışılmış, direkt ve indirekt aydınlatma ile oluşturulan gölgelerle verilmek istenen his sağlanmıştır [**8**]. Serginin 4. ve 5. katlarında altışar adet obje üzerinde ölçümler yapılmıştır. Wallwasher (A1), geniş açılı (A2) ve dar açılı yönlendirilmiş armatürler (A3) olmak üzere üç çeşit armatür kullanılmıştır. İki boyutlu eserlerde daha çok wallwasherlarla homojen ışık dağılımı sağlanmıştır. Yine düşey düzlemde sergilenen iki boyutlu kabartmalı eserlerde ise farklı yönlerden uygulanan dar açılı armatürler kullanılmıştır. Üç boyutlu eserlerin aydınlatılmasında da

objelere göre değişen tek ya da birkaç adet, farklı açılarla farklı yönlerde konumlandırılmış, direkt ve indirekt olarak eseri aydınlatan dar ve geniş açılı armatürler tercih edilmiştir. Eserlerin aydınlatılmasında kullanılan 100W'lık halojen lambaların ışık akısı 2200 lümendir. Renk sıcaklığı 3000K ve renksel geriverimi R_a 82'dir. Armatür özellikleri **Çizelge 4**'te verilmiştir.

Çizelge 4: Sophia Vari Sergisi Aydınlatmasında Kullanılan Armatürler

armatür	görsel		lamba özellikleri	
A1 (wallwasher)			ışık rengi	sıcak beyaz
			lamba gücü	100W
			lamba tipi	halojen
A2 (geniş açılı yönlendirilebilir armatür)			ışık rengi	sıcak beyaz
			lamba gücü	100W
			lamba tipi	halojen
A3 (dar açılı yönlendirilebilir armatür)			ışık rengi	sıcak beyaz
			lamba gücü	100W
			lamba tipi	halojen

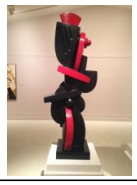
Değerlendirmede üzerinde çalışılan eserler aşağıda sıralanmıştır.

O1, Günlerin Günü: Mermerden yapılan üç boyutlu objenin aydınlatılmasında üzerine yönlendirilmiş dar açılı yönlendirilebilir armatür kullanılmıştır.
O2, Kraliçe: Çok renkli bronzdan yapılan üç boyutlu eser, üzerine yönlendirilmiş dar açılı yönlendirilebilir armatür ile aydınlatılmıştır.
O3, Sirk Gösterisi: Bronzdan yapılan eser, üzerine yönlendirilmiş iki adet dar açılı yönlendirilebilir armatür ile aydınlatılmıştır.
O4, Görünmeze Giden Yol: Epoksiden yapılan iki boyutlu kabartma eser, üzerine yönlendirilmiş dar açılı yönlendirilebilir armatür ile aydınlatılmıştır. Bunun dışında tavanda bulunan wallwashlardan da indirekt ışık almaktadır.
O5, Gölgeyle Uzam Arasında: Tuval üzerine karışık teknikle yapılmış iki boyutlu eser, üzerine yönlendirilmiş dar açılı yönlendirilebilir armatür ile aydınlatılmıştır.
O6, Yitik Kanatlar: Tuval üzerine suluboya tekniğiyle yapılan iki boyutlu eser, üzerine yönlendirilmiş iki adet dar açılı yönlendirilebilir armatür ile aydınlatılmıştır.

3.1.2. Sergilenen Objeler Üzerinde Yapılan Ölçümler

Seçilen 3 adet üç boyutlu, 2 adet iki boyutlu eser üzerinde yapılan ölçümlerden elde edilen değerler **Çizelge 5**'te verilmiştir.

Çizelge 5: Sophia Vari Sergisi objeler üzerindeki aydınlık düzeyi karşılaştırma tablosu

görsel	obje	izin verilen max aydınlık düzeyi (lx) IESNA	üst nokta aydınlık düzeyi	orta nokta aydınlık düzeyi	alt nokta aydınlık düzeyi	sağ nokta aydınlık düzeyi	sol nokta aydınlık düzeyi	arka nokta aydınlık düzeyi	doğrultulu aydınlatma armatürü	genel aydınlatma armatürü
	O1	1000lx	256 lx	122 lx	36 lx	59 lx	60 lx	44 lx	A3 (1 adet)	39 adet A1 7 adet A3
	O2	1000lx	290 lx	272 lx	164 lx	194 lx	380 lx	31 lx	A3 (2 adet)	39 adet A1 7 adet A3
	O3	1000lx	276 lx	235 lx	241 lx	55 lx	308 lx	245 lx	A1 (1 adet)	8 adet A2 8 adet A3
	O4	200lx	134 lx	203 lx	112 lx	117 lx	82 lx	0	A2 (2 adet)	8 adet A2 8 adet A3
	O5	200lx	62.7 lx	74 lx	67 lx	80 lx	81 lx	0	A1 (2 adet)	39 adet A1 7 adet A3
	O6	200lx	110 lx	102 lx	87 lx	98 lx	102 lx	0	A1 (2 adet)	39 adet A1 7 adet A3

3.2. Sakıp Sabancı Müzesi Anish Kapoor Sergisi Üzerinden Değerlendirme

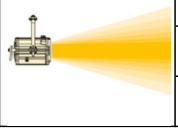
Bu bölümünde Anish Kapoor sergisinin galeri 2 ve 3 bölümlerinde yapılan aydınlık düzeyi ölçümler sonucunda elde edilen aydınlık düzeyi değerleri ve verilmek istenen etki tartışılmıştır.

3.2.1. Anish Kapoor Süreli Sergisi Hakkında Genel Bilgiler

Norman Rosenthal'in küratörlüğünü yaptığı sergi eserlerinde mermer, kaymaktaşı, cam elyafı, oniks gibi malzemeler kullanılmıştır. Sergi, heykel, mimari, mühendislik ve teknolojiyi biraraya

getiren ikonik eserleri içerir. Küratörün deyimiyle objelere içbükey ve dışbükey hareketlerle farklı bir boyut katılmış, izleyende zaman ve mekan algısının yer değiştirmesi amaçlanmış; mekanın ışıltılı ve göz alıcı olması istenmiştir. Bu sebeple obje odaklı yerine genel aydınlatma tercih edilmiştir. Eserlerin genelde ışığa duyarlı olmaması sebebiyle yüksek değerler önemsenmemiş, yansıma ve parıltılar sergi unsuru olarak kullanılmıştır [**9**]. Eserlerin aydınlatılmasında elektronik balastlı flüoresanlar (A4) ve geniş açılı yönlendirilebilen armatürler (A5) kullanılmıştır. Tavana metal askılarla asılmış cam konstrüksiyonun içinde yer alan flüoresanlar, mekan içinde genelde homojen bir dağılım sağlamaktadır. Elektronik balastlı 36W'lık lambaların renksel geriverimi R_a 85 'tir. 830 ve 840 renk kodlu 3000K ve 4000K renk sıcaklığında iki çeşit olarak uygulanmıştır. Geniş açılı yönlendirilebilen armatür içinde 300W'lık, 3000K sıcak beyaz renk ışık veren, renksel geriverimi R_a 80 olan halojen lambalar bulunmaktadır, 15º-45º arası açıyla uygulanmıştır. Kullanılan armatürler ve özellikleri **Çizelge 6**'da verilmiştir.

Çizelge 6: Anish Kapoor Sergisi Aydınlatmasında Kullanılan Armatürler

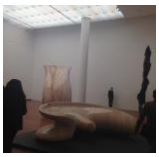
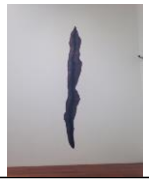
armatür	görsel	lamba özellikleri	
A4 (fluoresan)		ışık rengi	sıcak beyaz+ günışığı
		lamba gücü	36W
		lamba tipi	elektronik balastlı flüoresan
A4 (projektör)	 	ışık rengi	sıcak beyaz
		lamba gücü	300W
		lamba tipi	halojen

O7, Mollis: Mermer eserin aydınlatması mekanın genel aydınlatması olan, flüoresanların sıcak beyaz ve günışığı renklerinde sırayla uygulandığı ışıklı tavan ile yapılmıştır. Bu eser üzerinde ışıklı çerçeve yer almadığından eser ışığı indirekt olarak almaktadır.
O8, Richard Dacon İçin, Oniksten yapılmış üç boyutlu eserin aydınlatması flüoresanlarla oluşturulmuş ışıklı tavan ile yapılmıştır.
O9, Erdem: Mermerden yapılmış eserin aydınlatması flüoresanlarla oluşturulmuş ışıklı tavan ile yapılmıştır.
O10, Arkeoloji ve Biyoloji: Karışık malzemeden yapılan eserde, mekanın genel aydınlatması olarak flüoresanlarla oluşturulmuş ışıklı tavan ve direkt olarak esere değil duvara yönlendirilmiş projektörler kullanılmıştır.
O11, Çiçek: Karışık malzeme ve boya tekniğiyle yapılmış eserin aydınlatmasında mekanın genel aydınlatması olan flüoresanlarla oluşturulmuş ışıklı tavan kullanılmıştır.
O12, Sarı: Cam elyafı ve pigmentten yapılmış eserin aydınlatmasında mekanın genel aydınlatması olan flüoresanlarla oluşturulmuş ışıklı tavan ve esere ve yan duvarlara yönlendirilmiş projektörler kullanılmıştır.

3.2.2. Sergilenen Objeler Üzerinde Yapılan Ölçümler

Yapılan ölçümlerde elde edilen değerler **Çizelge 7**'de verilmiştir.

Çizelge 7: Anish Kapoor Sergisi objeler üzerindeki aydınlık düzeyi karşılaştırma tablosu

görsel	obje	izin verilen max aydınlık düzeyi (lx) IESNA	üst nokta aydınlık düzeyi	orta nokta aydınlık düzeyi	alt nokta aydınlık düzeyi	sağ nokta aydınlık düzeyi	sol nokta aydınlık düzeyi	arka nokta aydınlık düzeyi	doğrultulu aydınlatma armatürü	genel aydınlatma armatürü
	O7	1000lx	780 lx	365 lx	670 lx	660 lx	690 lx	319 lx	0	144 adet A4
	O8	1000lx	1445 lx	490 lx	380 lx	313 lx	1190 lx	1236 lx	0	144 adet A4
	O9	1000lx	1680 lx	686 lx	540 lx	780 lx	1197 lx	1082 lx	0	144 adet A4
	O10	500lx	470 lx	380 lx	300 lx	370 lx	375 lx	0	0	144 adet A4
	O11	500lx	590 lx	697 lx	615 lx	702 lx	564 lx	0	0	144 adet A4
	O12	200-400lx	330 lx	260 lx	330 lx	350 lx	310 lx	0	0	35 adet A4 12 adet A5

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Sophia Vari sergisinde eserler üzerine verilen ışık dışında genel aydınlatma uygulaması yapılmamıştır. Özellikle 4. katta mekan genelinde loş bir aydınlatma görülürken, sergilenen objeler üzerine ışıkla dikkat çekilmiş, objelerin üç buyutluluğu gölgelendirmelerle vurgulanmıştır. Işığa duyarlı olmayan obje sınıfına giren üç boyutlu sergi elemanları üzerine gelen maksimum aydınlık düzeyi 380lx'e ulaşırken, minimum değer 31lx değerindedir. Üç boyutlu objelerin kıvrımlarının ve malzeme özelliğinin algılanabilmesi için homojen olmayan bir ışık dağılımı olmuştur. İki boyutlu objelerin aydınlatılmasında ise obje çeşidine göre farklılıklar

görülmüştür. Epoksiden yapılmış, kabartma ile üçüncü boyut kazanmış ışığa az duyarlı O4 objesinin farklı noktalarında okunan aydınlık düzeyi değerleri farklıdır. Homojen bir dağılım görülmemektedir. İzin verilen maksimum 200lx değerini geçmeyen 203-82lx değerleri okunmuştur. O5 ve O6 objelerinde ise daha homojen bir aydınlatma görülmektedir. Okunan maksimum değer 110lx olmuştur.

Anish Kapoor süreli sergisinde ise tavana metal askılarla asılmış cam konstrüksiyonun içinde yer alan flüoresanlardan oluşturulmuş ışıklı tavan ve kimi alanlarda duvara yönlendirilmiş projektörler uygulanmıştır. Objeler üzerine yönlendirilmiş armatürler kullanılmamış, mekan genel aydınlatma ile homojene yakın bir şekilde aydınlatılmıştır. Sergi objeleri ışığa duyarlı olmayan objeler olduklarından, mekan içinde yüksek aydınlık düzeyi değerleri ölçülmüştür. Özellikle mermerden yapılmış objelerin üzerinde yansımalara ve parıltı farklılıklarına izin verilmiştir. Flüoresanla aydınlatılan bölümde ölçülen değerler 1400lx'leri bulmuştur. Mollis eseri ise diğer üç boyutlu objelere nazaran daha az ışık almaktadır. İki boyutlu alınan ancak girinti çıkıntılarıyla üç boyut kazanmış objeler ise tavandaki flüoresanların dizilmesiyle oluşturulmuş ışıklı tavan ile aydınlatılmaktadır. O10 ve O11 eserlerinde üç boyutluluk hissini daha iyi vermek ve malzeme özellikleri, girinti-çıkıntılarını vurgulamak için obje üzerinde endirekt aydınlatma ile gölgeler oluşturulmuştur. Bu sebeple bahsedilen objelerin farklı noktalarında okunan aydınlık düzeyi değerleri farklıdır. O12 eserinin orta noktasında verilen derinlik ve sonsuzluk hissi bu noktada okunan daha düşük aydınlık değeriyle pekiştirilmiştir.

İki sergide görülen sonuçlara göre, öncelik sergi objelerinin ışık duyarlılıkları olmakla birlikte, objenin nasıl algılanmasının istendiği, üçüncü boyutun hissettirilmesi, canlılık, derinlik gibi hislerin ziyaretçiye yansıtılması ve mekanın sergi ile bütünleşerek deneyimlendirilebilmesi aydınlatma tasarımını belirlemektedir.

5. KAYNAKÇA

1. S. M. Soygeniş, *ABD ve Kanada'dan Müze Binaları,* Mimarlık 92/1, (1991).

2. IESNA, "*Museum and art gallery lighting:a recommended practice*", Illuminating Engineering Society of North America, New York, (1996).

3. G. Matthews, "*Museums And Art Galleries"*, Butterworth Architecture, (1991).

4. http://www.museeduluxembourg.fr/en/le-musee/histoire/

5. DS/EN 12464-1, "*Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places*", (2009).

6. IESNA, Lighting Handbook, 10th edition, Illuminating Enginering Society of North America, New York, (2011).

7. CIBSE, *Code For Interior Lighting*, CIBSE, London, (1984).

8. http://www.peramuzesi.org.tr/Sergi/Sophia-Vari/141

9. http://www.anishkapooristanbulda.com

LOUIS I. KAHN TARAFINDAN TASARLANAN MÜZELERDE GÜNIŞIĞI: BİR KARŞILAŞTIRMA ÇALIŞMASI

Seda Kaçel, Y.Mimar[a]
İTÜ Mimarlık Fakültesi, Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437
Benson Lau, Y.Mimar[b]
Nottingham Üniversitesi, Mimarlık ve Yapılı Çevre Bölümü
University Park, Nottingham, NG7 2RD, İngiltere

ÖZET

Yirminci yüzyılın öncü mimarlarından Louis I. Kahn'ın günışığına verdiği önem mimari tasarımını önemli ölçüde etkilemiştir. Tasarladığı ve inşa edilen müzeler; Yale Üniversitesi Sanat Galerisi, Kimbell Sanat Müzesi ve Yale İngiliz Sanatı Merkezi'dir. Louis I. Kahn'ın günışığı konusundaki fikirleri ile tasarladığı binaların etkileşimi üzerine kapsamlı çalışmalar mevcuttur. Fakat müze projelerinde, tasarladığı formların müzenin iç mekan ışıklı çevresi üzerinde yarattığı etkileri hem niteliksel, hem de niceliksel yönden inceleyen çalışmalara aynı yoğunlukta rastlanmamaktadır. Bu çalışmanın amacı, Louis I. Kahn'ın müze tipolojisinde yarattığı ışıklı çevreyi araştırmaktır. Araştırma yöntemi olarak niteliksel ve niceliksel yöntemler kullanılmıştır. Niteliksel analiz olarak ışıklı çevre; müze fotoğrafları, simülasyon görselleri ve mekansal analizler aracılığı ile değerlendirilmiştir. Niceliksel çalışmada, günışığı performansı ve görsel ortam bilgisayar simülasyonu aracılığı ile değerlendirilmiştir. Çalışma, Louis I. Kahn'ın ışıklı çevre ile ilgili olarak müze tasarımını, şeffaf cephe düzeninden başlayarak kontrollü ışığın çatı ışıklığından galeri mekanlarına alınması şeklinde geliştirdiğini ortaya çıkarmıştır. Louis I. Kahn'ın nitelikli günışığı tasarımına gayret edişinin yolculuğu; hem tasarım profesyonelleri, hem de mimarlık öğrencileri için yararlı bir referans oluşturmaktadır.

Anahtar sözcükler: Müzelerde Işıklı Çevre, Günışığı, Niteliksel ve Niceliksel Analiz

ABSTRACT

As one of the key architects of the 20th century, the significance Louis I. Kahn gave to natural light highly influenced his architecture. He had designed three museums, which were built; Yale University Art Gallery, Kimbell Art Museum and Yale Centre for British Art. Comprehensive studies exist on the interaction between Louis I. Kahn's ideas about light and the buildings he designed. However; in terms of museum projects, the studies, which investigate the impact of the forms he designed on the internal luminous environment qualitatively and quantitatively cannot be found that much. The aim of this research is to explore the luminous environment of his museum typology. As research methodology, qualitative and quantitative studies have been used. As the qualitative analysis, luminous environment has been evaluated through photographs, simulated images and spatial analysis. In the quantitative study, the daylighting performance and visual environment has been assessed through digital modeling. The study concluded that Louis I. Kahn had developed his museum design in relation to luminous environment starting from fully glazed into the form of penetration of controlled light through rooflight. Louis I. Kahn's journey of striving for excellence in daylighting design constitutes useful reference for both design professionals and architecture students.

Key words: Luminous Environment in Museums, Daylighting, Qualitative and Quantitative Analysis

[a] e-posta adresi: kacel.seda@gmail.com
[b] e-posta adresi: benson.lau@nottingham.ac.uk

1.GİRİŞ

1.1. Louis I. Kahn ve Günışığı

Yirminci yüzyılın öncü mimarlarından Louis I. Kahn, kariyeri boyunca günışığından etkilenmiş ve mimarisini biçimlendirmek amacıyla kullanmıştır. "*Binalarında ışık ve gölgenin oyunu, mekan ve strüktür ile ilişkili ışık miktarı, günışığı yıl boyunca çeşitlilik gösterdikçe binanın uğradığı değişim*" bulunmaktadır [**1**]. Mimari yolculuğunda, Louis I. Kahn direkt güneş ışığını kontrol etme biçimini geliştirmiştir. Bu gelişim "*ışık kontrolü için daha sofistike çözümler*" olarak tanımlanmaktadır ve geç dönem binalarında çatı ışıklığı bu değişimin önemli bir işaretidir [**1**].

Mimarisinde bulunan pencereleri tasarlarken; ışıklı çevreyi, havalandırmayı ve mekansal kaliteyi dikkatlice gözönüne almıştır [**1**].

1.2. Louis I. Kahn ve Müze Binaları

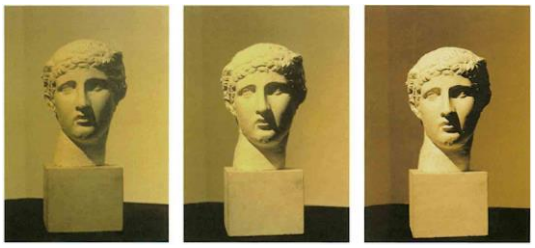
Louis I. Kahn'ın mimari kariyeri boyunca tasarladığı yapılar arasında sanatsal fonksiyona sahip yapılar da bulunmaktadır. Bu eserler arasında tasarlanıp, inşa edilen üç müze ve sanat galerisi bulunmaktadır. İlgili yapılar yapım sırası ile; Yale Üniversitesi Sanat Galerisi (1951-1953), Kimbell Sanat Müzesi (1966-1972) ve Yale İngiliz Sanatı Merkezi (1969-1974)'dir [**2**].

Yale Üniversitesi Sanat Galerisi projesinde Louis I. Kahn, strüktürde uyguladığı teknoloji ile hem tavan içinde mekanik gereksinimleri çözmüş, hem de tavanı açık yüzey olarak bırakabilmiştir [**3**]. Sanat galerisinin "*çok katlı, yandan ışık alan düzeni ve çatı ışıklığının bulunmadığı*" formu, projenin aynı zamanda mimari stüdyo mekanları ve Yale Mimarlık Okulu'na ait başka fonksiyonları içermesine dayanmaktadır [**4**]. Kimbell Sanat Müzesi'nde Louis I. Kahn'a verilen "*Ön Mimari Program*", "*galeri mekanlarında günışığına çağrı"* yapmıştır ve yapı formunda Kahn'ın Romantik-Klasik karakteristiği göze çarpmaktadır [**3**]. Müzede günışığı, iç mekanı tanımlamaktadır ve Louis I. Kahn'ın "*binayı güneşe açtığı*" şeklinde yorumlanmaktadır [**3**]. Yale İngiliz Sanatı Merkezi için yaptığı ilk eskiz çalışmalarında, Louis I. Kahn "*üst katta çatı ışıklıklı galerilerin, alt katta ticari mekanın ve aradaki diğer herşeyin iki avlu etrafında düzenlendiği bir blok*" tasarlamıştır [**3**]. Beton strüktür sistemi üst kattaki çatı ışıklıklarını tanımlar [**3**] ve çatı ışıklıkları tüm binanın üstünü kaplamaktadır [**5**]. Merkez, pencereden mekana giren günışığına da sahiptir [**4**].

2. MÜZELERDE IŞIKLI ÇEVRE

Müzelerde günışığı kapsamlı bir konu olduğundan, bu bildiri çerçevesinde özellikle aydınlık düzeyi ve parıltı kontrastı konuları ele alınmıştır. Aydınlık düzeyi konusunda, sergilenen objelerin algılanabilmesi için gerekli minimum aydınlık düzeyi değeri 50 lux'tür [**6**]. İki ve üç boyutlu eserlerin ağırlıklı olarak düşey düzlemde teşhir edildiği müze ve galeri ortamlarında, "*eserlerin üzerindeki aydınlık düzeyi ile galeri mekanının genel aydınlatması (ortalama düşey aydınlık düzeyi olarak alınır) arasındaki kontrast 3 : 1 olmalıdır*" [**7**]. Eser ile çevresi arasındaki ışıklılık oranı, "*iyi bir görüş ve ilgi çekici bir görünüm sağlamak*" amacıyla önemlidir [**7**]. Farklı ışıklılık oranları, üç boyutlu eserin algısını değiştiren vurgu ve gölge farklılıklarına yol açar (**Şekil 1**). Işıklı çevrede, vurguların belirli bir oranı geçtiği durumda kamaşma gibi görsel konfor

sorunları oluşabilir [**6**]. Bu nedenle, parıltı kontrastı çalışmalarında optimum ışıklılık oranı değerlerinden yararlanılmalıdır. Görsel iş, yakın çevre ve uzak çevre arasındaki ışıklılık oranı sırasıyla 10 : 3 : 1 olmalıdır [**8**]. Görüş alanı için verilen en yüksek ışıklılık oranı 10 : 1 olmasına rağmen, 20 : 1 ve 40 : 1 oranları arasındaki değerler mekan içinde kabul edilebilir en yüksek ışıklılık oranları olarak verilmiştir [**9**].



Şekil 1: Çeşitli ışıklılık oranlarının eserin algılanması üzerindeki etkisi: 2:1 (sol şekil), 5:1 (orta şekil) ve 12:1 (sağ şekil) [**7**].

3.ARAŞTIRMA AMACI VE YÖNTEMİ

Louis I. Kahn'ın günışığı konusundaki fikirleri ile tasarladığı binaların etkileşimi üzerine kapsamlı çalışmalar mevcuttur. Fakat müze projeleri kapsamında, tasarladığı formların müzenin iç mekan ışıklı çevresi üzerinde yarattığı etkileri hem niteliksel, hem de niceliksel yönden inceleyen çalışmalara aynı yoğunlukta rastlanmamaktadır. Bu çalışmanın amacı, Louis I. Kahn'ın yaratmak istediği ışıklı çevreye bağlı olarak müze mimarisi gelişimini ve tasarladığı üç müzenin mimarilerinin müzelerdeki görsel algı ile etkileşimini incelemektir. Araştırmanın yöntemi olarak niteliksel ve niceliksel yöntemler birlikte kullanılmıştır. Öncelikle niteliksel analiz olarak ışıklı çevrenin değerlendirmesi; müze fotoğrafları ve mekansal analizler aracılığı ile yapılmıştır. Niceliksel çalışma, günışığı performansının ve görsel çevrenin bilgisayar simülasyonu aracılığı ile değerlendirmesini içerir. Bu kapsamda, üç müzenin dijital üç boyutlu modelleri hazırlanmış ve Autodesk Ecotect/Radiance yazılımı ile günışığı simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Galeri mekanlarının günışığı faktörü, aydınlık düzeyleri ve ışıklılık dağılımı simüle edilmiştir. Müzelerin görsel ortamları açısından önemli bir konu olan parıltı kontrastı, sergilenen iki ve üç boyutlu eserler açısından çalışılarak incelenmiştir. Çalışma sonunda üç müzenin karşılaştırmalı analizi yapılmıştır.

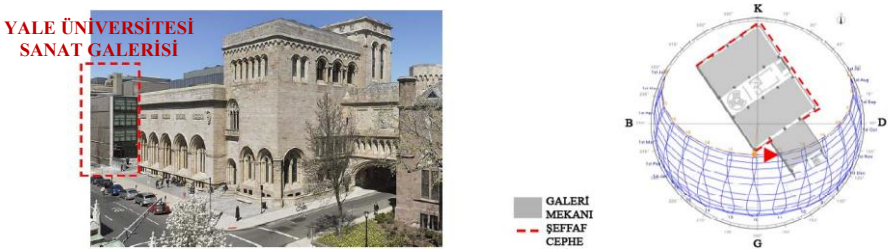
4. IŞIKLI ÇEVRE ANALİZİ: YALE ÜNİVERSİTESİ SANAT GALERİSİ

4.1. Arazi Mikro-İklim, Mimari ve Mekansal Özellikler

Yale Üniversitesi Sanat Galerisi, Amerika Birleşik Devletleri'nin Connecticut eyaletinin New Heaven şehrinde bulunmaktadır. Mevcut galeri binasına ek olarak planan yapı, Louis I. Kahn tarafından tasarlanmış ve 1953 yılında kullanıma açılmıştır [**10**] (**Şekil 2**). New Heaven şehri, 41.3° kuzey enlemi ve -72.9° batı boylamı üzerinde konumlanmaktadır. Güneş analizi, binanın uzun aksı boyunca kuzeybatı ve güneydoğuya yönlendiğini göstermektedir. Binanın sağır tuğla duvar cephesi, güneybatı yönündedir ve Chapel Caddesi boyunca devam etmektedir. Şeffaf cepheler, kuzeydoğu ve kuzeybatı yönlerinde tasarlanmıştır (**Şekil 2**). Gölge analizi ile şeffaf

cephelerin çoğunlukla gölgede kaldığı tespit edilmiş ve bu tespit binanın yönü ile pencere konumlarının direkt güneş ışığını azaltıcı etkisi olarak değerlendirilmiştir.

Galeri binası dikdörtgen plan biçimine sahiptir. Plan üç bölümden oluşmaktadır. Orta bölümde sirkülasyon alanlarına ayrılmış ve orta bölümün her iki tarafında galeri mekanları düzenlenmiştir. Galeri binası, dört kat ve giriş seviyesi altında bulunan bodrum kattan oluşmaktadır. Yapı, betonarme strüktür ile boşluklu tavan formuna sahiptir. Cephe tasarımı incelendiğinde; güneybatı cephesi tamamen sağır duvar olarak tasarlanmışken, kuzeydoğu ile kuzeybatı cepheleri şeffaf cephe olarak tasarlanmış ve belirli modülasyona sahip açıklıklardan oluşmaktadır. Sirkülasyon aksından galeri mekanlarına ilerleyen ziyaretçiler, baskın mekansal öğeler olarak sağır tuğla duvarı, şeffaf cepheleri ve boşluklu yapıdaki tavanı gözlemler **(Şekil 3)**.



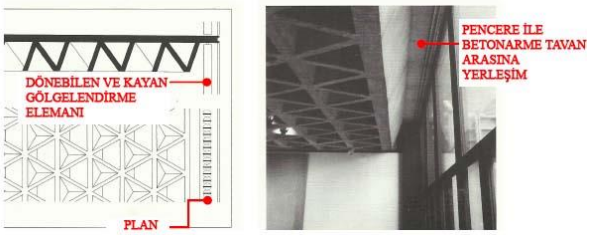
Şekil 2: Yale Ünivesitesi Sanat Galerisi ve çevre binalar (sol şekil) [**10**] ve tipik kat planı üzerinde güneş analizi (sağ şekil) (plan için orijinal kaynak [**2**], dijital çizim ve diyagram yazar tarafından)



Şekil 3: Cephe düzeni (sol şekil) [**11**] ve şeffaf cephe ile betonarme boşluklu tavan düzeni (sağ şekil) [**11**]

4.2. Niteliksel Analiz

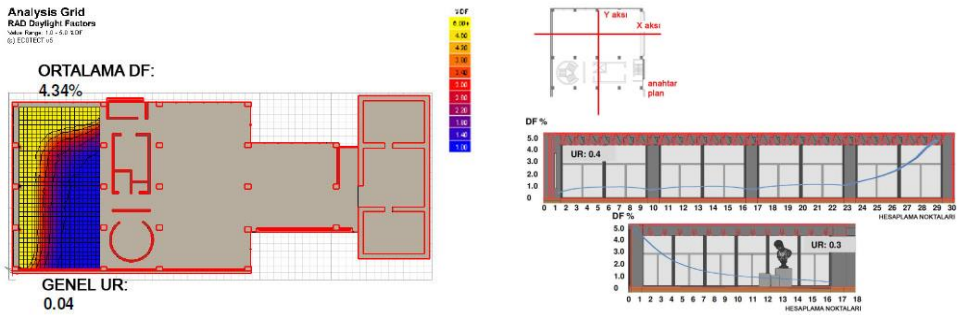
Günışığı galeri mekanlarına şeffaf cepheler aracılığıyla ulaştıktan sonra, yoğunluğu sirkülasyon aksına ve sağır duvara doğru azalmaktadır. Aynı gözlem, tavan üzerinde de geçerlidir. Tavanın boşluklu kısımları ışığı yutarken, dolu kısımları günışığını mekana geri yansıtmaktadır. Ayrıca, hareketli teşhir panelleri aydınlık ve karanlık bölgeler oluşturmaktadır. Direkt güneş ışığı, sağır cephe ve şeffaf cephelere yerleştirilen gölgelendirme elemanları ile engellenmektedir **(Şekil 4)**.



Şekil 4: Yale Üniversitesi şeffaf cepheleri için Kahn tarafından tasarlanan gölgelendirme elemanları [**1**]

4.3. Niceliksel Analiz

Günışığı faktörü simülasyonları için simülasyon ızgara düzlemi 0.85 metre olarak alınmıştır. Günışığı faktörü, kapalı gök koşuluna ait bir parametre olduğundan pencerelerin önünde gölgelendirme elemanının olmadığı kabul edilerek simüle edilmiştir. Ayrıca, hareketli teşhir panelleri sabit mimari eleman olmadığı için simülasyonlarda hariç tutulmuştur. Simüle edilen galeri mekanında ortalama günışığı faktörü (DF) % 4.3 olarak bulunmuştur ve yapma aydınlatmanın gerekmediği günışığı ile aydınlatılan bir mekan için % 5 [**6**] olarak belirtilen ortalama günışığı faktörü referans değerine oldukça yakındır (**Şekil 5**). Günışığı faktörü değerlerindeki çeşitlilik, eşyayılmışlık çarpanı çalışmasını gerektirmiştir. Günışığı faktörü simülasyon sonuçlarına göre yapılan hesaplama ile, eşyayılmışlık çarpanı (UR) 0.04 olarak elde edilmiş ve referans değer olarak belirtilen 0.7'nin [**6**] altında kalması günışığı dağılımının eşyayılmış olmadığını ifade etmektedir (**Şekil 5**). Bu duruma, günışığının simüle edilen galeri mekanına sadece iki cepheden (kuzeydoğu ve kuzeybatı cepheleri) girmesi ve sağır duvar ile sirkülasyon alanının mekanın günışığına katkı sağlamaması neden olmaktadır. Görsel çevrenin değerlendirmesi amacıyla; aydınlık düzeyi ve ışıklılık simülasyonları, kapalı gök koşulu altında en kötü durum değerlendirmesi olarak gölgelendirme elemanları olmadan ve açık gök koşulu altında gölgelendirme elemanları ile yapılmıştır. Kapalı gök koşulu altında aydınlık düzeyleri, cepheden 3 metre uzaklıktaki alan için yüksek ve bu alandan itibaren cepheden uzaklaştıkça hızla düşerek 100 lux ile 200 lux olarak gözlemlenmiştir (**Şekil 6**). Üç boyutlu heykelin cephe önüne yerleştirildiği ve açık gök koşulu altında simüle edildiği durumda, 1 : 2 ışıklılık oranı heykel ve arka plan arasında ortalama bir parıltı kontrastı yaratmaktadır. Arka plan, heykelden daha parlak ve şeffaf cephe yüzeyi olduğu için silüet etkisi oluşmuştur. Bu durum, üç boyutlu modellemeyi önemli ölçüde etkilemiş ve heykelin üzerindeki detayların algısını azaltmıştır (**Şekil 6**).



Şekil 5: Günışığı faktörü dağılımı, plan üzerinde (sol şekil) ve günışığı faktörü dağılım eğrileri ile eşyayılmışlık çarpanları, kesit üzerinde (sağ şekil) (model ve diyagramlar yazar tarafından)

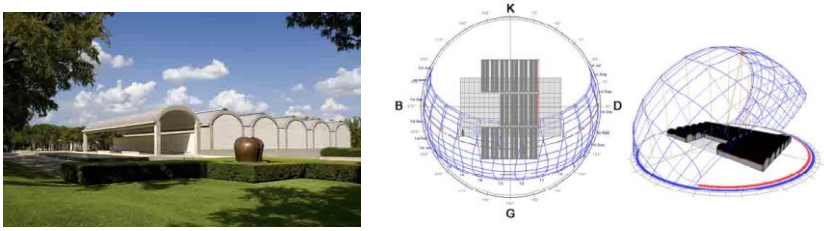


Şekil 6: Kapalı gök koşulu altında aydınlık düzeyleri, eşdeğer lux eğrileri olarak (sol şekil) ve açık gök koşulu altında Ekinoks günü öğlen saat 12 için seçilen ışıklılık değerleri (Radiance simülasyonu yazar tarafından)

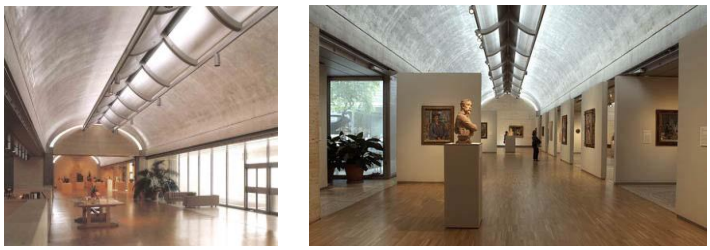
5. IŞIKLI ÇEVRE ANALİZİ: KİMBELL SANAT MÜZESİ

5.1. Arazi Mikro-İklim, Mimari ve Mekansal Özellikler

Kimbell Sanat Müzesi, Amerika Birleşik Devletleri'nin Texas eyaletinin Fort Worth şehrindedir. Müze, 1972 yılında açılmış ve geniş bir zaman aralığına yayılan sanat eserlerini barındırmaktadır [**12**]. Peyzaj alanları, havuz ve dış mekanda teşhir edilen heykeller ile çevrili olan yapının ana girişi zemin kattadır, ayrıca ana girişe karşı yönde alt katta ikinci bir giriş de bulunmaktadır (**Şekil 7**). Fort Worth şehri, 32.8° kuzey enlemi ve -97.1° batı boylamı üzerinde konumlanmaktadır. Ana girişi batı yönünden olan müzenin, galeri mekanlarının tonoz biçimli cepheleri kuzey ve güney yönündedir (**Şekil 7**). Doğu, güney ile batı doğrultusunda ve üzerinde sadece ince ışık yarıklarının olduğu sağır duvarlar olarak muhtemelen yüksek parıltı kontrastını azaltabilir (**Şekil 7**). Plan şeması üç bölümden oluşmakta ve altı adet beşik tonozu içermektedir. Giriş cephesindeki iki tonoz çıkma şeklindedir. Ana giriş, planın merkezinde ve dış hattından geri çekilmiş şeffaf bir duvar üzerindedir (**Şekil 8**). Galeri mekanları, ana girişin her iki tarafındadır. Galeri içlerinde yeralan ışık avluları tonozların içine yerleştirilmiştir. Yapının strüktürünü, betonarme tonozlar ve kolonlar oluşturmaktadır. Louis I. Kahn tonoz üzerine çatı ışıklıklarını yerleştirmiştir. Çatı ışıklığından geçen günışığı, ilk önce ışıklık altındaki yansıtıcıdan tonoz yüzeyine ve ardından galeri mekanına yönlendirilir (**Şekil 8**).



Şekil 7: Kimbell Sanat Müzesi dış mekan görseli (sol şekil) [**12**] ve vaziyet planı üzerinde güneş analizi (sağ şekil) (plan için orijinal kaynak [**2**], dijital çizim ve diyagram yazar tarafından)



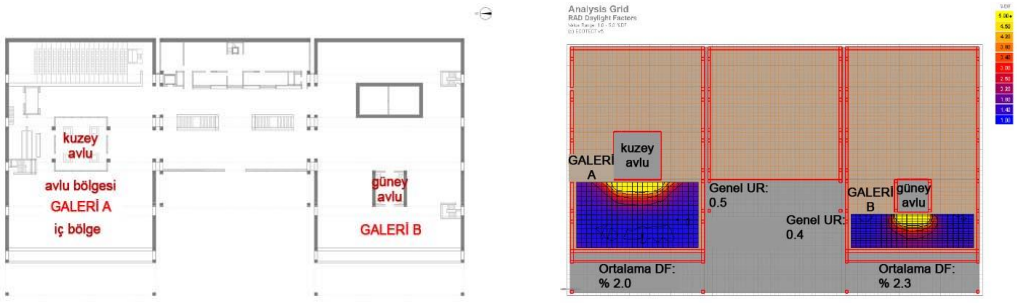
Şekil 8: Kimbell Sanat Müzesi ana giriş (sol şekil) [**13**] ve galeri mekanı ile ışık avlusu (sağ şekil) [**12**]

5.2. Niteliksel Analiz

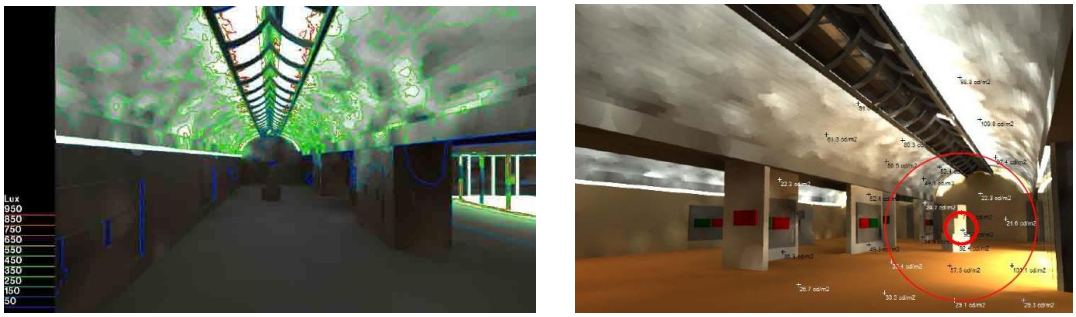
Çatı ışıklığı düzeni, betonarme tonoz yüzeyini en parlak yüzey haline getirir. Işık yoğunluğu, tonoz yüzeyinden duvarlara doğru gittikçe azalır. Cephe üzerindeki açıklıklar, ince çizgisel ve dairesel ışık yarıklarıdır. Tonoz yapı kabuğu içine açılan ışık avlularından kuzey avlusu, bol miktarda günışığını galerilere iletir. Avlu, kuzey kanadının merkezinde yeraldığından dolayı iç galerilere ilerledikçe ışık miktarı azalır. Sadece iki yüzeyi şeffaf olan güney avlusundan gelen ışık ise daha kontrollüdür [**4**].

5.3. Niceliksel Analiz

Günışığı performans ve görsel çevre analizi amacıyla simülasyonlar, belirlenen iki adet giriş kat galeri mekanı için gerçekleştirilmiştir. Kuzey avluya bitişik Galeri A, iki tonoz genişliğinde ve avlu bölgesi ile iç bölge olarak ikiye ayrılmıştır. Güney avluya bitişik Galeri B ise tek tonoz genişliğindedir (**Şekil 9**). Galeri A'da ortalama günışığı faktörü % 2 olarak bulunmuştur. İç bölgede günışığı faktörü % 1 iken, avlu bölgesinde günışığı faktörü % 5'dir. Bu fark, kuzey avlusunun avlu bölgesine sağladığı ışığı belirtmektedir. Galeri B için ortalama günışığı faktörü % 2.3'tür. Ortalama değer, Galeri A ortalama değerine yakın olmasına rağmen; avludan uzaklaştıkça elde edilen yüksek günışığı faktörü değerleri Galeri B'nin avludan daha fazla yararlandığını gösterir. Eşyayılmışlık çarpanı Galeri A için 0.5, Galeri B için 0.4 olarak hesaplanmıştır. Değerlerin referans olarak alınan 0.7 değerine [**6**] yakın olması, her iki galerideki günışığı dağılımının eşyayılmış dağılıma yakın olduğunu göstermektedir (**Şekil 9**). Aydınlık düzeyleri bakımından, Galeri A iç bölgesi kuzey avlusundan etkilenmemektedir. En aydınlık yüzey tonoz yüzeyi olup, alt duvar yüzeyine doğru değerler gittikçe azalmaktadır. Bu günışığı dağılımı kapalı ve açık gök koşulları için geçerli olup, açık gök koşulu altında iç bölge daha aydınlık olarak gözlemlenmiştir (**Şekil 10**). Işık avlularına yakın galeriler olarak Galeri A avlu bölgesi ve Galeri B'de tonoz tavan yüzeyi benzer bir dokuya sahiptir. Fakat avlular, ışıklı çevreyi oldukça etkilemektedir. Galeri B'de kapalı gök koşulu altında heykel ile arka duvar arasındaki kontrast farkı için önerilen 3 : 1 değeri **[7]**, 6.5 : 1 oranı ile sağlanmıştır. Galeri A avlu bölgesinde açık gök koşulu altında, heykel ve yakın çevresi arasındaki ışıklılık oranı 1.96 : 1 olarak objenin üç boyutlu modellemesini önemli ölçüde etkilemektedir (**Şekil 10**). Avluların parlak şeffaf yüzeyleri nedeniyle gerekli kamaşma kontrolleri yapılmıştır. Galeri B'de bulunan heykel ile avlu penceresi arasındaki ışıklılık oranı 1 : 3.8 olarak 1 : 20 kabul edilebilir oranı **[9]** sağlamaktadır.



Şekil 9: Simüle edilen galeri mekanları için anahtar plan (sol şekil) (plan için orijinal kaynak [**2**], dijital çizim ve diyagram yazar tarafından) ve günışığı faktörü dağılımı, plan (sağ şekil) (model ve diyagram yazar tarafından)



Şekil 10: Galeri A iç bölgesinin açık gök koşulu altında Yaz Gündönümü öğlen saat 12 için aydınlık düzeyleri, eşdeğer lux eğrileri olarak (sol şekil) ve Galeri A avlu bölgesinin açık gök koşulu altında Yaz Gündönümü öğlen saat 12 için seçilen ışıklılık değerleri (Radiance simülasyonu yazar tarafından)

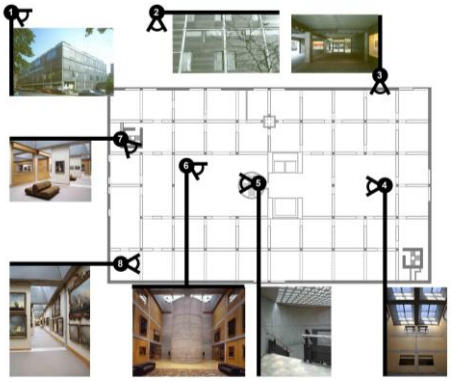
6. IŞIKLI ÇEVRE ANALİZİ: YALE İNGİLİZ SANATI MERKEZİ

6.1. Arazi Mikro-İklim, Mimari ve Mekansal Özellikler

Yale İngiliz Sanatı Merkezi; 1953'de açılan Louis I. Kahn tasarımı Yale Üniversitesi Sanat Galerisi'nin de (**Bölüm 4**) yeraldığı New Heaven şehrinde olup, galeri ile aynı cadde üzerinde konumlanmaktadır (**Şekil 11**). 1977 yılında açılan sanat merkezinin koleksiyonu İngiliz sanatı ve kültürüne ait eserlerden oluşmaktadır **[14].** Bina, uzun kenarı doğrultusunda kuzeybatı ve güneydoğu yönündedir. Galeri mekanları, binanın dört cephesi boyunca konumlandıkları için tüm yönlere yönlenmiştir. Cephe haricinde, diğer bir güneş ışınım kaynağı olarak çatı ışıklığı tüm çatı üzerindedir (**Şekil 11**). Dört kat yüksekliğindeki yapının dikdörtgen planı, bir ızgara sistemi üzerine kurulmuştur. Ana giriş, binanın kuzeydoğu köşesinden olup, kanopi altına yerleşmiştir. Yapı bloğu içinde, kare ve dikdörtgen formlu iki avlu bulunmaktadır (**Şekil 12**). Üst katlarda, avlu duvarları üzerindeki düşey açıklıklar aracılığıyla galeri mekanları ile avlu boşlukları ilişkilendirilmiştir. En üst katta, çatı ışıklıkları betonarme kirişler üzerine oturmaktadır. Çatı ışıklığı, her bir ızgara dört parçaya bölünmüş olarak dış metal paneller ile iç difüzör sisteminden oluşur. Betonarme strüktür, dış cephede çizgisel olarak görünmektedir. Pencereler çoğunlukla galeri mekanlarına hizmet etmekte olup, her cephede farklı düzene sahiptir (**Şekil 12**).



Şekil 11: Yale İngiliz Sanatı Merkezi'nin Yale Üniversitesi Sanat Galerisi'ne göre konumu (sol şekil) **[3]**, Yale İngiliz Sanatı Merkezi dış görsel (orta şekil) **[3]** ve üçüncü kat planı üzerinde güneş analizi (sağ şekil) (plan için orijinal kaynak [**2**], dijital çizim ve diyagram yazar tarafından)



Şekil 12: Üçüncü kat planı üzerinde dış ve iç görseller (plan için orijinal kaynak [**2**], dijital çizim ve diyagram yazar tarafından, görseller için kaynak (görsel numarasına göre): 1 ve 3 **[3]**; 2 [**15**]; 4,5,6,7 ve 8 [**14**])

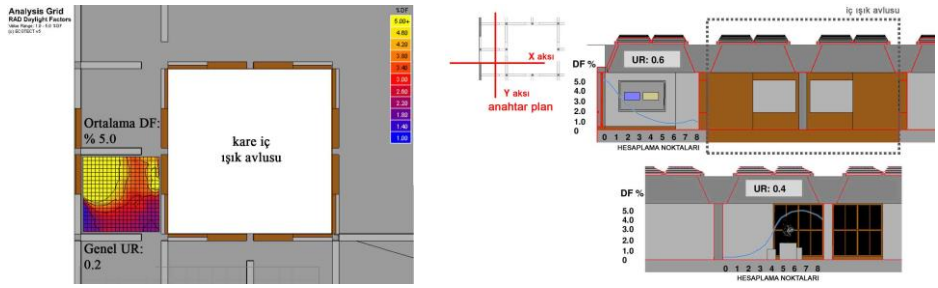
6.2. Niteliksel Analiz

Çatı ışıklıkları aracığıyla iç avlulara giren günışığı, müze girişinin doğal aydınlatma kaynağıdır. İç avlular, avlu duvarlarındaki açıklıklar ile galeri mekanlarının ışıklı çevresini geliştirir. Üst kat

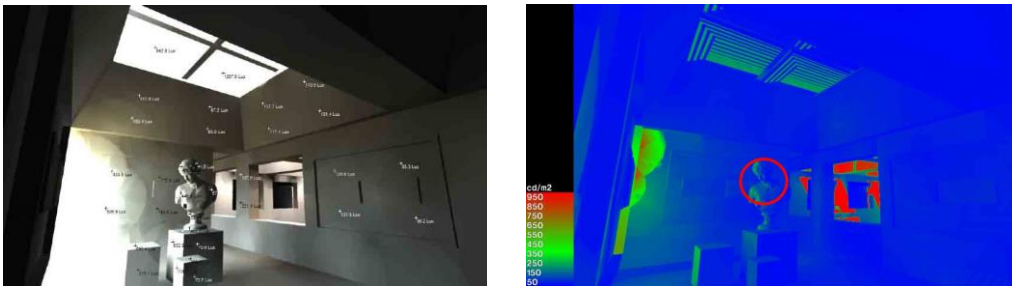
galerinin ışıklı çevresini nitelendiren baskın öğe, çatı ışıklığıdır. Eğimli betonarme kiriş, ışıklıktan gelen yaygın günışığı ile galeri mekanının ışıklı çevresi arasında bir geçiş yüzeyi oluşturur. Pencereler, yandan aydınlatmaya sahip galeriler için günışığı kaynaklarıdır. Galerilerde, pencereden gelen direkt güneş ışığının kontrolü amacıyla kayabilen ahşap gölgelendirme paneli tasarlanmıştır **[1].**

6.3. Niceliksel Analiz

Sanat merkezi niceliksel analizi için en üst katta yeralan, güneydoğu yönünde ve çatı ışıklığı, iç avlu açıklığı ve teşhir duvarı yanında cephe penceresi bulunan galeri seçilmiştir. İlgili galeri mekanı için günışığı faktörü % 5 olarak, referans değeri [**6**] sağlamaktadır. Böylelikle, galeri mekanının aydınlatması için doğal aydınlatma yeterlidir. Günışığı dağılımı, pencere ile avlu açıklığının galeri ışıklı çevresine olan katkılarını göstermektedir. Günışığı faktörü simülasyonu sonucunda hesaplanan eşyayılmışlık çarpanı 0.2 olarak bulunmuştur ve dağılımın eşyayılmış olmadığını gösterir (**Şekil 13**). Galeri üst bölgesinde, iki kenar duvar üzerindeki pencere ve avlu açıklıklarının bu bölgedeki günışığı faktörünü yükseltmesi bu duruma neden olmuştur. Aydınlık düzeyi ve ışıklılık simülasyonları, kapalı gök koşulu altında en kötü durum değerlendirmesi olarak ahşap gölgelendirme paneli olmadan ve açık gök koşulu altında ahşap gölgelendirme paneli ile yapılmıştır. Galeride en yüksek aydınlık düzeyi değerleri, çatı ışıklığı yüzeyindedir ve üzerindeki aşamalı azalan değerler kirişlerin geçiş yüzeyi olduğunu gösterir. Heykel yüzeyinin aydınlık düzeyleri (yaklaşık 446 lux) ile ortamın aydınlık düzeyleri (yaklaşık 172 lux) arasındaki kontrast oranı, referans oranı 3 : 1'e [**7**] yakındır (**Şekil 14**). Açık gök koşulu altında, Yaz Gündönümü sabah saatlerinde heykel üzerinde oluşan parıltı kontrastını, cephe üzerindeki pencereden gelen günışığı oluşturmaktadır. Ayrıca, iki boyutlu teşhir duvarı ortamdan bir miktar daha parlaktır (**Şekil 14**).



Şekil 13: Günışığı faktörü dağılımı, plan üzerinde (sol şekil) ve günışığı faktörü dağılım eğrileri ile eşyayılmışlık çarpanları, kesit üzerinde (sağ şekil) (model ve diyagramlar yazar tarafından)



Şekil 14: Kapalı gök koşulu altında aydınlık düzeyleri, rakamsal değerler olarak (sol şekil) ve açık gök koşulu altında Yaz Gündönümü sabah saat 9 için seçilen ışıklılık dağılımı (Radiance simülasyonu yazar tarafından)

7. KARŞILAŞTIRMALI ANALİZ

Karşılaştırmalı analiz; ışığın karakteri, açıklık tipolojileri, günışığı dağılımı, günışığı aydınlığı ve parıltı kontrastı açısından yapılmıştır. Mimari programına bağlı olarak Louis I. Kahn'ın şeffaf cepheler ile tasarladığı Yale Üniversitesi Sanat Galerisi'nde, cepheden gelen baskın ışık galeride eşyayılmış olmayan bir dağılım oluşturmuştur. Günışığı aydınlığı cepheden uzaklaştıkça azalmıştır. İki boyutlu eserler yeterli derecede algılanabilirken, cepheye yakın ve cephenin arkadan aydınlattığı üç boyutlu eserlerde silüet etkisi oluşmuştur. Günışığının karakteristik bir öğe olduğu Kimbell Sanat Müzesi'nde; ışıklı çevreyi, tepeden gelerek parlak tonoz yüzeylerinde gittikçe azalan günışığı belirlemiştir. Galeri mekanlarında günışığı dağılımı eşyayılmıştır. Fakat, ışık avlularına bitişik galeriler avlulardan yan doğrultuda gelen ışıktan yararlanmıştır. Çatı ışıklığı ve yansıtıcı ile dengeli bir ışıklı çevre oluşmuştur. Işık avlularına bitişik galerilerdeki eserlerin iki ve üç boyutlu modellemesi iyi bir performans sergilemiştir. Yale İngiliz Sanatı Merkezi'nde çatı ışıklığı, çatı yüzeyini kaplamaktadır. Günışığı, çatı ışıklığında dış ve iç düzenekler ile kontrol edilmiştir. Cephe ve avlu pencereleri günışığı dağılımını etkilemiş ve bu açıklıklar yakınında daha eşyayılmış bir dağılım oluşmuştur. Bu açıklıklar, eserler üzerindeki düşey aydınlığı geliştirmiştir. İyi iki ve üç boyutlu modelleme için, çatı ışıklığı düşey açıklıklardan gelen ışık ile birbirlerini tamamlamıştır.

8. SONUÇ

Mimari forma ve günışığı tasarımına ait farklılıklar, Louis I. Kahn'ın müzelerindeki ışıklı çevreyi geliştirdiğini göstermektedir. Louis I. Kahn'ın nitelikli günışığı tasarımına gayret edişinin yolculuğu; tasarım ile mimarlık profesyonelleri ve öğrencileri için yararlı bir referans oluşturmaktadır.

KAYNAKLAR

1. U. Büttiker, "*Louis I. Kahn: Light and Space*", Birkhauser Verlag, Boston, (1994).
2. H. Ronner and S. Jhaveri, "*Louis I. Kahn: Complete Works 1935-1974*", 2nd edition, Birkhauser, Basel, (1987).
3. D. B. Brownlee and D. G. De Long, "*Louis I. Kahn: In the Realm of Architecture"*, Thames & Hodson, London, (1997).
4. D. Hawkes, "*The Environmental Imagination"*, Routledge, Oxon, (2008).
5. D. Hawkes, "*The Environmental Tradition: Studies in the Architecture of Environment"*, E & FN Spon, London, (1996).
6. Society of Light and Lighting (SLL), "*The SLL Lighting Handbook*", SLL (CIBSE), London, (2009).
7. Chartered Institution of Building Science Engineers (CIBSE), "*Lighting for museums and art galleries"*, CIBSE, London, (1994).
8. R. G. Hopkinson, P. Petherbridge and J. Longmore, "*Daylighting"*, Heinemann, London, (1966).
9. Commission of the European Communites, "*Daylighting in Architecture: A European Reference Book"*, edited by N. Baker, A. Fanchiotti and K. Steemers, James & James, London, (1993).
10.Yale Üniversitesi Sanat Galerisi, alındığı tarih: 08.2012, adres: http://artgallery.yale.edu/about/architecture.
11. Global Architecture (GA), "*Louis I. Kahn: Yale Art Gallery and Kimbell Art Museum*", Issue: 38, A.D.A. EDITA Tokyo Co. Ltd, Tokyo, (1976).
12. Kimbell Sanat Müzesi, alındığı tarih: 12.2013, adres: https://www.kimbellart.org/architecture.
13. M. Brawne, Kimbell Art Museum, In: *Twenty Century Museums I*. Phaidon Press Limited, London, (1999).
14. Yale İngiliz Sanatı Merkezi, alındığı tarih: 08.2012, adres: http://britishart.yale.edu/.
15. K. P. Gast, "*Louis I. Kahn*", Birkhauser, Basel, (1999).

ALIŞVERİŞ MEKANLARININ AYDINLATMASINDA GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

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

ÖZET

Alışveriş mekanlarında görsel algının alışveriş deneyimine yön veren etkenlerden bir tanesi olması nedeniyle aydınlatma sisteminin tasarımı büyük önem taşır. Farklı tiplerdeki alışveriş mekanlarında görsel konfor koşullarının sağlanması için farklı değerlere ihtiyaç duyulur. Gerekli değerlerin sağlanması ve kullanıcıların sergilenen ürünleri doğru algılayabilmesi için alışveriş mekanlarının çoğunda gündüz saatleri de dahil olmak üzere kullanım saatleri boyunca yapma aydınlatmaya ihtiyaç duyulur. Yapma aydınlatma sistemlerinin sürekli aktif durumda olması büyük bir enerji tüketimine sebep olmaktadır. Bu çalışmanın amacı, örnek bir alışveriş mekanında mevcut aydınlatma sistemi ile yeni önerilen sistemin enerji verimliliği ve görsel algı açılarından karşılaştırılmasıdır. Bu amaçla Relux simülasyonları ve enerji hesaplamaları yapılmıştır.

Anahtar sözcükler: Aydınlatma, Alışveriş Mekanları, Görsel Algı, Enerji Tüketimi

ABSTRACT

Because visual perception in shopping areas directs peoples' behavior, the lighting system design has a great importance on these areas. Different values are needed to provide comfort requirements in different types of shopping areas. To provide required values and be perceived the displayed goods accurately, using artificial lighting systems is needed in the most of the shopping areas throughout the day. Usage of the artificial lighting systems for the whole day causes a huge energy consumption. The aim of this study is comparison of the existing and proposed lighting systems in an example shopping area in terms of energy performance and visual perception. Relux simulations and energy calculations are carried out for this purpose.

Key words: Lighting, Shopping Areas, Visual Perception, Energy Consumption

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

1.GİRİŞ

Alışveriş mekanları pek çok ürünün bir arada sergilendiği ve bu ürünlerin müşterilerin beğenisine sunulduğu, görsel algının büyük önem taşıdığı alanlardır. Görsel algıyı etkileyen en önemli faktörlerden biri olarak aydınlatma, alışveriş mekanını şekillendirir. Alışveriş mekanları kullanım süresi boyunca yapma aydınlatma sistemlerine gereksinim duyar, dolayısıyla da aydınlatma sistemleri aracılığıyla büyük enerji tüketimine sebep olurlar. Bu nedenle, alışveriş mekanları için aydınlatma tasarımı yapılırken görsel konfor koşulları, enerji verimliliği, alışveriş mekanının özellikleri ve yaratılmak istenen görsel algı konuları dikkate alınmalıdır.

2. ALIŞVERİŞ KAVRAMI VE MEKAN

Mekan; içinde belli eylemlerin geçtiği, sınırları tanımlı boşluktur [**1**]. Alışveriş ise kültürel ve sosyal aktivite haline dönüşmüş, günümüzün en popüler eylemlerinden biridir [**2**], [**3**]. Mimari bağlamda bir alışveriş mekanını incelemek için alışveriş kavramını incelemek ve anlamak gerekir.

2.1. Alışveriş Kavramı

İnsanlar, ihtiyaçlarını karşılamak, lüks şeylere sahip olmak, şehrin bir parçası olmak ve zevk almak gibi nedenlerle her geçen gün daha fazla alışveriş yapmaktadırlar. Toplumda kültürel etkinliklere olan ilgi azaldıkça alışveriş ötekileştirilmeyi önleyen ve fark yaratmayı sağlayan bir deneyim haline dönüşmektedir. Ticari yaklaşımlara göre alışveriş mekanları modern şehirlerin en büyük ilgi odağı haline gelmiş durumdadır [**2**]. Günümüzde alışverişin kapsamı sadece ihtiyaç maddeleri ile sınırlı değildir, kültür-sanat etkinlikleri de alışveriş kavramına dahil olmuştur. Artık pek çok alışveriş mekanı insanların bir araya gelebileceği kafe ve restoranlar, sinema ve tiyatro salonları, eğlence alanları ve farklı etkinliklerde kullanılabilecek etkinlik alanları ile birlikte planlanmaktadır [**3**]. Son yıllarda ise alışveriş mekanları çevreleriyle ve çevrelerinin gereksinimleriyle beraber değerlendirilerek, konut ve ofis binaları gibi yapılarla bir bütün olarak tasarlanmaktadır. Leland Roth, M.Ö. 400'lerde Yunan şehri Agora'sının dükkanlar ve evlerden oluştuğunu belirtir. Daha sonra Agora şehir hayatının merkezi haline gelmiş, ticaret ve öğretimin yapıldığı, politikanın tartışıldığı bir kamusal alana dönüşmüştür. Erken Roma kentlerinde ise kent ofisleri, mahkeme salonu, tapınak, kütüphane ve pazar gibi yapıları içinde barındıran Forum, Yunan şehrindeki Agora'nın yerini alarak şehrin merkezini oluşturuyordu [**4**]. Evliya Çelebi Seyahatname'sinde İstanbul'u anlatırken 17. Yüzyılın ortalarında Kapalıçarşı'da dükkan, lokanta, hazine dairesi, cami, mescit, hamam, çeşme, tulumbalı kuyu, han, mektep ve türbe olduğunu belirtmektedir [**5**]. Görüldüğü gibi alışveriş kavramı sadece bugün değil yüz yıllar önce de sosyal hayatın önemli bir parçasını oluşturmakta ve alışveriş mekanları şehrin merkezinde yer almaktaydı.

2.2. Alışveriş Kavramının Mekan İle İlişkisi

Mekan; içinde belli eylemlerin geçtiği, sınırları tanımlı boşluktur. Bu sınırları tanımlayan özellikler sadece yüzeyler değildir. Işık da bir mekanın sınırlarını oluşturabilir, sahnedeki sanatçı ışığın yarattığı bir mekan içinde performansını sergiler, o mekan için tanımlanan eylemi gerçekleştirir, ancak ışık söndüğünde mekan yok olur. Bir mekandaki algıyı o mekanın

organizasyonu belirler, mekan organizasyonuna ise mekanın işlevi, bağlamı, bulunduğu iklim gibi özellikler yön vermektedir [**1**]. Mekanda gerçekleştirilen eylemler, mekanın işlevi, mekanı sınırlayan yüzeyler ve mekan algısını etkileyen bütün faktörler bir arada mekanı tanımlar.

Mimarlığın bağlantıda olduğu; zaman, bağlam, kültür, sanat ve etik gibi kavramlar onun tanımını yapmamızı zorlaştırsa da aslında mimarlığın insanla ilgili olduğunu, onun ihtiyaçlarına göre şekillendiğini ortaya koymaktadır [**1**]. Alışverişi de insan hayatının bir parçası olarak değerlendirirsek, alışveriş mekanı mimarisinin alışveriş deneyimine yön verdiğini söyleyebiliriz. Mekanın tasarımı, planlaması, mekandaki ışık, ses, havalandırma, sıcaklık kişilerin davranışlarına, ne yöne gideceklerine, o mekanda ya da mekanın belli bir alanında ne kadar zaman geçireceklerine yön verir. Dolayısıyla alışveriş ve mekan kavramlarını birbirinden ayrı düşünmek mümkün değildir.

Başarılı bir alışveriş mekanı tasarımı; pazarlama stratejileri ile çevre tasarımını bütünleştirebilmelidir. Nakaoka kullanıcıların bir mağazaya girdiklerinde isteklerini pekiştiren ve kendilerini tanımlayan imajları aradıklarını söylemiştir. Tasarımcı kullanıcıları alışveriş mekanına çekecek şeyin ne olduğunu iyi bir biçimde analiz etmelidir. İstenenin mekanın ucuz ürünlerle dolu olduğunu vurgulamak mı, yoksa rahat ve keyifli zaman geçirilebilecek bir mağaza yaratmak mı olduğu belirlenmelidir [**6**]. Bu imajları yaratabilmek ancak kullanıcı algısının nasıl çalıştığını bilmekle mümkün olabilir.

Kişiler bulundukları çevre ile duyu organları aracılığıyla ilişki kurar. Çevrenin fiziksel veya kimyasal olarak duyu organlarında yarattığı uyarılar, duyum olarak algılanır [**7**]. Görme özellikle mekânsal çevrenin algılanmasında en büyük role sahip olan duyudur. Soygeniş mimari mekanı; tanımlanabilen bir biçimi, dokusu ve rengi olan, içinde farklı eylemlerin gerçekleştiği fiziksel bir gerçeklik olarak tanımlar [**1**]. O halde bir mekanı algılayabilmemiz için öncelikle o mekanın biçimini, dokusunu ve içindeki renkleri algılamamız gerekir. Tüm bunlar ise ancak görme duyusu ile algılanabilir ve bu sayede kişi mekanla ilişki kurulabilir. Hedeflenen şekilde bir görme eylemi ise ancak doğru tasarlanmış aydınlatma ile sağlanır.

3. ALIŞVERİŞ MEKANLARINDA AYDINLATMA TASARIMI

Bir mekandaki aydınlatma mekan algısını değiştirebilir, kullanıcılarına huzurlu bir ortam sunabilir ya da tam tersine onların daha hızlı hareket etmelerini sağlayabilir, renk ve boyut algısını değiştirebilir. Alışveriş mekanlarında da hedef ürünlerin en iyi şekilde sergilenmesini, tüketiciler tarafından en iyi şekilde algılanmasını ve ilgi çekici gösterilmesini sağlamaktır. Aydınlatma bir mekanın ya da ürünün algısını değiştirebileceği için bir alışveriş mekanının tasarımındaki en önemli parçalardan biridir.

İyi bir aydınlatmanın satış ve pazarlamada olumlu bir etkisi olabileceği gibi yanlış planlanmış bir aydınlatma ise tam tersi yönde etki yaratarak satışları düşürebilir. Etkili bir mağaza aydınlatması tüketicinin ilgisini çekmeli, ürünleri öne çıkarmalı, tavan, duvar ve zemine dramatik bir görüntü vermeli, ürünleri ve tüketiciyi en iyi şekilde göstermeli, gözün zorlanmasını önlemeli ve enerji tasarrufu sağlamalıdır [**6**]. Bir mekandaki aydınlatma kullanıcıların temel ihtiyaçları göz önünde bulundurularak tasarlanmalıdır. Mekanda gerçekleştirilecek eylem için yeterli görsel performansın, görsel konfor koşullarının ve güvenliğin sağlaması her koşulda temel ihtiyaçtır [**8**].

Alışveriş mekanlarında etkili bir aydınlatma yaratmak için; mimari proje, alışveriş mekanının türü, alışveriş mekanında gerçekleştirilecek eylemler, mekan tasarımının amaçları ve aydınlatma gereksinimleri dikkate alınarak tasarım yapmak gerekir [**9**].

3.1. Aydınlatma Tasarımının Bileşenleri

Bir mekandaki ışık çevresini belirleyen parametreler; parıltı dağılımı, aydınlık düzeyi, kamaşma değeri, ışığın doğrultusu, çeşitliliği, renksel geriverim değeri ve ışık titremesi [**8**]. Bu parametreler mekanda kullanılan ışık kaynaklarının özelliklerine ve kullanım biçimine bağlı olarak değişir. Aydınlık düzeyi ışık yayan bir cisimden belli bir yüzeye düşen ışık miktarıdır. Aydınlık düzeyinin miktarına göre çevredeki objeler net bir biçimde algılanabileceği gibi aydınlık düzeyinin düşük olduğu ortamlarda tam görsel performans elde edilemez [**10**]. Düzgünlük belirli bir alandaki aydınlık düzeyinin dağılımını ifade eder. Görsel performans ve konfor koşullarının sağlanması için çalışma düzlemi homojen bir biçimde aydınlatılmalıdır [**8**]. Işık kaynağının ya da bir yüzeyin yanlış yerleştirilmesi sonucu göze gelen parıltı kamaşmaya neden olur. Kamaşma görsel konforsuzluk yarattığı gibi kişilerin mekanı algılamasını engelleyerek görsel bariyer işlevi de görebilir [**10**]. Işık kaynağının özellikleri bir ortamdaki yapay aydınlık düzeyini ve ışık kalitesini, dolayısıyla da o ortamdaki kullanıcıların görsel performansını ve konfor koşullarını belirler. Işık rengi, renksel geriverim değeri ve etkinlik faktörü bir ışık kaynağının seçiminde göz önüne alınması gereken parametrelerdir [**11**].

3.2. Yapma Aydınlatma Sistemlerinde Kullanılan Lamba Türleri

Aydınlatma tasarımında mekanın aydınlık gereksinimlerinin karşılanması temel hedeftir. Bir mekandaki gereksinimler ise kullanıcı profiline (ör: kullanıcı yaşı, cinsiyeti vb.), mekanda gerçekleştirilecek eylemlere ve alanın mimari planlamasına bağlıdır [**12**]. Bu parametreler düşünüldüğünde alanın karakteristik özelliklerini yansıtacak şekilde genel aydınlatma, vurgu aydınlatması ya da görev aydınlatması uygulanabilir [**13**]. Bu aydınlatma sistemleri tasarlanırken de lambalar, armatürler ve kontrol panelleri ortamdaki ihtiyaçları karşılayacak özelliklerde seçilmeli ve buna göre planlanmalıdır [**12**]. Aydınlatma sistemi ortamda oluşan aydınlık düzeyi ve enerji tüketimi açısından ele alındığında seçilecek ışık kaynağı büyük önem kazanır. Günümüzde verimliliği diğer türlere göre daha yüksek olan flüoresan ve LED gibi yeni teknolojiye sahip lambalar tercih edilmeye başlanmıştır [**12**].

Işık kaynakları temel olarak ‘Enkandesen Lambalar’ ve ‘Deşarj Lambaları’ olmak üzere iki grupta sınıflandırılabilir. Enkandesen lambalar içinde; standart enkandesen lamba ve halojen enkandesen lambalar, deşarj lambaları içinde de flüoresan lambalar ve yüksek yoğunluklu deşarj lambaları incelenebilir.

Enkandesen (akkor telli) lambalar akkor hale gelmiş bir tel aracılığıyla ışık üretirler **[6].** Normal enkandesen lambalarda elektrik metal bir filaman üzerinden geçerken elektrik akımına karşı direnç gösteren flaman ısınır ve akkor hale geçer. Bu süreç yüksek enerji tüketimine ve ısı kazancına neden olur [**14**].

Deşarj lambalarında, içine gaz doldurulan cam bir tüpün iki ucundaki elektrotlara gerilim uygulandığında serbest elektronların iyonizasyonu sonunda ışık üretilmiş olur [**7**]. Flüoresan

lambalarda cıva buharının deşarj sonucu yaptığı mor ötesi ışıma fosfor kaplı iç yüzey sayesinde görülebilir ışığa çevrilir [**12**], [**7**]. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba, metal halide lamba ve seramik metal halide lamba gibi pek çok lamba bu gruba dahildir.

LED'ler tek bir dalga boyunda radyasyon yayan diyota elektrik verilmesiyle ışık üretir. Görünür ışığı arttırmak için flüoresan lambalarda olduğu gibi bu diyotlar da fosfor ile matlaştırılır. LED diyotları çok küçük olduğu için genellikle pek çok diyot bir arada kullanılır ancak bu diyotların her biri ayrı ışık yayınımı yapar [**14**].

3.3. Alışveriş Mekanlarında Aydınlatma Gereksinimleri

Bir alışveriş mekanının aydınlatma tasarımı, orada satılan ürünün türü, fiyat aralığı ve alıcısıyla ilgilidir. Örneğin indirim mağazalarında yüksek aydınlık düzeyi sağlayan, düzgünlüğü yüksek aydınlatma sistemleri tercih edilirken, yüksek kalitede ürün satan mağazalarda ürünlerle mağaza ortamı arasında kontrast yaratarak ürünleri ön plana çıkaran yönlendirilebilen armatürlerin kullanımı tercih edilir.

Mağazanın içindeki vitrin, giriş alanı, ödeme noktası, farklı ürünlerin sergilendiği alanlar – bir giyim mağazasındaki kıyafet ve ayakkabı, çanta reyonları farklı aydınlatma tasarımı gerektirebilir – ve deneme kabinleri gibi farklı alanlarda da farklı aydınlık düzeylerine ihtiyaç duyulur. Özellikle giyim mağazaları gibi renk seçiminin önemli olduğu mağazalarda ürünlerin sergilendiği yerler ile deneme kabinlerinde uygulanan aydınlatma tasarımının ürünün özeliklerini doğru biçimde yansıtması ve renksel geriverim indeksinin yüksek olması gerekir [**13**]. Örneğin ürün sergileme alanlarında 300 lx aydınlık düzeyi sağlanması beklenirken, ödeme noktalarında aydınlık düzeyi en az 500 lx olmalıdır **(Çizelge 1)** [**8**], [**15**].

Çizelge 1: Mağazada bulunan alanlara göre gerekli aydınlık düzeyleri ve düzgünlük değerleri [**8**], [**15**].

Alan Tipi	Aydınlık Düzeyi (lx)	Düzgünlük (Uo)
Ürün sergileme alanları	300	0.40
Ödeme noktası	500	0.60
Deneme kabinleri	300 *	0.66-0.83

Çizelge 2: Mağaza türlerine göre gerekli aydınlık düzeyleri [**8**], [**15**].

Mağaza Türü	Aydınlık Düzeyi (lx)	Düzgünlük (Uo)
Giyim Mağazası	300 *	0.66-0.83
Perakende satış	400 *	0.33-0.66
Butik	200 *	0.16-0.33
İndirim mağazası	500 *	0.33-0.66
Mücevher	400 *	0.16-0.33
Mobilya	200 *	0.16-0.33

* Bu değerler 25-65 yaş aralığı içindir

Mağazalarda uygulanması gereken aydınlık düzeyi, mağazanın sattığı ürünün türüne, fiyat aralığına ve sunuş şekline göre değişiklik gösterir. Bir butikte 200 lx aydınlık düzeyi yeterli olurken, indirim mağazalarında bu değerin en az 500 lx olması beklenir **(Çizelge 2)** [**8**], [**15**].

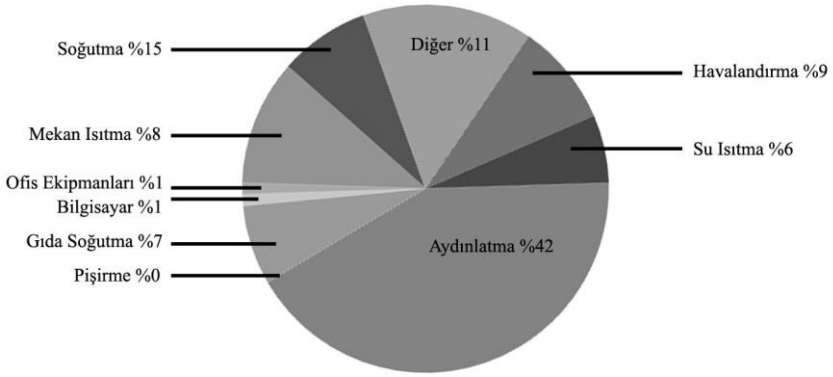
Lamba özellikleri ortamdaki ışığın özelliklerini de belirleyeceğinden lamba seçimi aydınlatma tasarımının en önemli aşamalarından biridir. Örneğin hızlı hareket edilen yerlerde yüksek aydınlık düzeyleri gerekirken, konforun ön plana çıktığı daha yavaş hareket edilen mekanlarda daha düşük aydınlık düzeyleri ve sıcak renkli lambaların tercih edilmesi gerekir [**7**]. Lamba seçimi yapılırken lambaya ait özellikler göz önünde bulundurulmalı, etkinlik, lamba ömrü, yardımcı ekipman gereksinimi, loşlaştırma, sistemin çalışma özellikleri, renksel özellikler, fiziksel çevre, sürdürülebilirlik ve maliyet gibi kriterlere dikkat edilmelidir. **Çizelge 3**'te farklı lamba türlerinin özellikleri sıralanmıştır [**15**].

Çizelge 3: Farklı lamba türlerinin özellikleri [**15**].

Lamba Tipi	Lamba Etkinliği (lm/W)	Yardımcı Ekipman	Loşlaştırma	Ömür (saat)	Renk Sıcaklığı (Kelvin)	Renksel Geriverim İndeksi
Standart Tungsten	8-13	Yok	Loşlaştırma var	750-1500	2500-2800	97+
Halojen Lamba	10-15	Yok	Loşlaştırma var	3000-5000	2500-2800	97
LED Lamba	24-75 (gelişiyor)	Sürücü	Loşlaştırma var	20000-50000	1100-9000	20-95+
Vida Başlıklı Kompakt Füloresan	35-65	Dahili Balast	Loşlaştırma yok	6000-8000	2700-6500	80'den az
İğne Başlıklı Kompakt Füloresan	50-80	Balast	2 pinlilerde loşlaştırma yok / 4 pinliler dim balastı ile loşlaştırma var	10000-16000	2700-5000	80'den az
Doğrusal Füloresan	70-100	Balast	Değişken	15000-46000	2700-7500	50-90+
Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı	70-145	Balast	Özel ekipmanla %50 loşlaştırma	16000-55000	1800-2500	20'den az
Kuvars Metal Halide	68-120	Balast	Özel ekipmanla %50 loşlaştırma	10000-20000	27000-10000	60-90 (genelde 65-75)
Seramik Metal Halide	80-125	Balast	Özel ekipmanla %50 loşlaştırma	10000-30000	27000-5600	80-98

Alışveriş mekanlarında farklı sistemlerin harcadığı enerji oranları karşılaştırıldığında aydınlatma sisteminin oldukça büyük bir yüzdeye sahip oluğu görülür **(Grafik1)** [**15**]. Enerji kaynaklarının tükenmeye başladığı bu günlerde aydınlatma sistemlerinin enerji tüketimini azaltmak hem çevresel, hem de ekonomik olarak büyük fayda sağlayacaktır. Bina sertifikasyon programları da puanlama sistemlerinde enerjiye ilişkin kriterlere büyük bir pay ayırmıştır. Enerji kategorisi 100 üzerinden LEED'de 37 puanla değerlendirirken, BREEAM'da 19 puan ile değerlendirir [**16**], [**17**]. Bu da aydınlatma tasarımının ve aydınlatma sisteminde kullanılan lambaların, enerji verimliliği ve çevresel etkiler bakımından ne kadar önemli olduğunu vurgulamaktadır.

Grafik 1: Alışveriş mekanlarında farklı sistemlerin harcadığı enerji miktarlarının dağılımı [**15**].

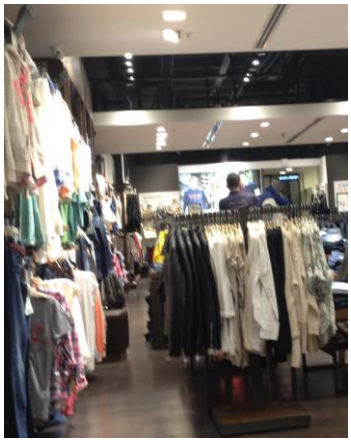


4. ÖRNEK BİR MAĞAZA İÇİN İKİ FARKLI AYDINLATMA TASARIMININ KARŞILAŞTIRILMASI

Bu çalışma kapsamında, genç ve spor giyime yönelik bir mağazanın aydınlatma tasarımı incelenmiştir. Mağazadaki yüzeylerin renkleri; tavanda siyah ve beyaz, duvarlarda siyah, kahverengi ve bej, döşemede ise antrasittir. Tavanda asma tavan ve açık tavan sistemleri bir arada kullanılmıştır.



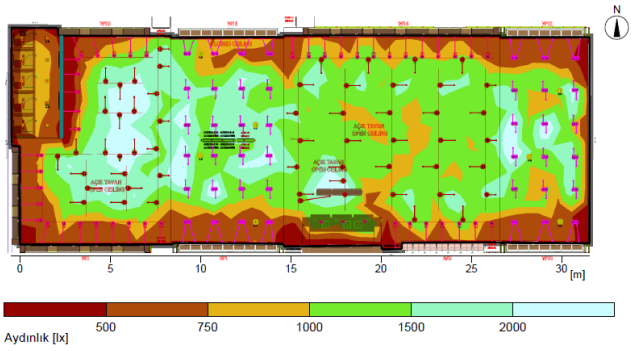
Resim 1: Mevcut durumda metal halide ve kompakt flüoresan lambalarla yapılan uygulama (Fotoğraf: M. Aşçıoğlu)



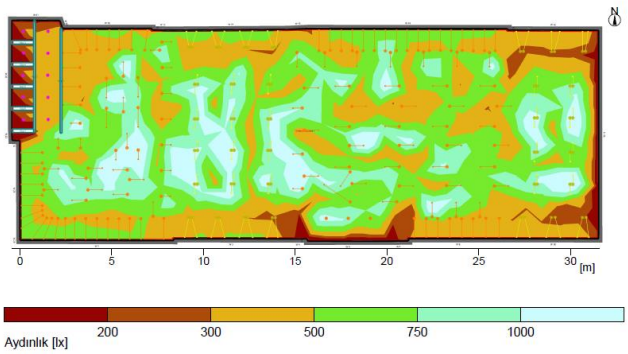
Resim 2: Yeni durumda LED armatürlerle yapılan uygulama (Fotoğraf: M. Aşçıoğlu)

Mağazada mevcut durumda metal halide ve kompakt flüoresan lambaların kullanıldığı bir aydınlatma sistemi vardır (**Resim 1**). Aynı markanın bir başka şubesinde LED sistemlerle yapılan yeni uygulamanın fotoğrafı **Resim 2**'de verilmiştir [**18**]. Farklı tip lambaların kullanıldığı iki aydınlatma sistemi farklı görsel etkiler yaratmaktadır.

Mevcut durumda metal halide ve kompakt flüoresan lambalarla yapılmış olan aydınlatma tasarımının analizi için hazırlanmış Relux simülasyonu **Şekil 1**'de verilmiştir [**18**]. Markanın, tüm mağazalarının aydınlatma tasarımını LED sisteme dönüştürme kararına bağlı olarak bu çalışma kapsamında LED kullanılarak yapılan tasarıma ilişkin Relux simülasyonu **Şekil 2**'de verilmiştir.



Şekil 1: Mevcut durumda metal halide ve kompakt flüoresan lambalarla yapılan tasarımın temsili renkler gösterimi [**18**].

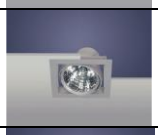
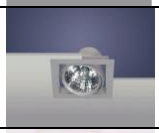


Şekil 2: Yeni durumda LED armatürlerle yapılan tasarımın temsili renkler gösterimi

Mevcut durumda ve geliştirilen öneride kullanılan metal halide, kompakt flüoresan ve LED armatürlere ilişkin bilgiler **Çizelge 4**'te verilmiştir.

Mağazanın mevcut durumunda oluşan ortalama aydınlık düzeyi 1140lx olup, IESNA Lighting Handbook'da belirtilen mağaza aydınlatması için gerekli minimum aydınlık düzeyi olan 300lx değerinin çok üstündedir. Ancak marka pazarlama stratejisi gereği mağazada yüksek aydınlık düzeyi yaratılmasını istemektedir. Dolayısıyla tasarlanacak yeni aydınlatma sisteminde de yüksek aydınlık düzeyi oluşturulması beklenmektedir. LED kullanılarak tasarlanan sistemde 615lx ortalama aydınlık düzeyi elde edilmiştir **(Çizelge 5)**.

Çizelge 4: Mevcut durumda ve geliştirilen öneride kullanılan armatürlerin özellikleri [**18**].

Armatür			Lamba Türü	R_a	Renk Sıcaklığı	Işık Akısı	Armatür İçindeki Lamba Sayısı	Sistem Gücü
Tür	Resim	Sayı						
L DL 8103001 Tavana gömme		7	Kompakt Flüoresan	80	3000 K	1800lm	2	52 W
L AN 1501003 Yönlendirilebilir 30 derece		84	Metal Halide	80	3000 K	3200lm	1	35 W
L AN 1501003 Yönlendirilebilir 60 derece		10	Metal Halide	80	3000 K	3200lm	1	35 W
L SP 1410001 Yönlendirilebilir 30 derece		46	Metal Halide	80	3000 K	3200lm	1	35 W
L SP 1410002 Yönlendirilebilir 45 derece		57	Metal Halide	80	3000 K	7000lm	1	81 W
L AN 2404004 Yönlendirilebilir 30 derece		68	LED	80	3000 K	200 lm	12	27 W
L AN 2404004 Yönlendirilebilir 40 derece		10	LED	80	3000 K	200 lm	12	27 W
L SP 1416008 Yönlendirilebilir 30 derece		133	LED	80	3000 K	200 lm	12	37 W

Çizelge 5: Mevcut durum ve LED kullanılarak geliştirilen öneriye ilişkin değerler

	Mevcut Durum		Öneri
	Metal Halide	Kompakt Flüoresan	LED
Kullanılan Armatür Sayısı	197	7	211
Tüm Lambaların Toplam Işık Akısı	872200 lm		506189 lm
Ortalama Aydınlık Düzeyi (Em:lx)	1140 lx		615 lx
Toplam Güç	9881 W		5697 W
Birim Alandaki Toplam Güç	26.98 W/m²		15.59 W/m²
Düzgünlük Uo	0.31		0.34

5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Ele alınan mağazada mevcut durumda 197 adet metal halide ve 7 adet kompakt flüoresan lambalı armatür kullanılarak 1140 lx ortalama aydınlık düzeyi sağlanırken, geliştirilen öneride armatür sayısı yaklaşık %5 oranında arttırılarak 211 LED armatür ile 615 lx ortalama aydınlık düzeyi elde edilmektedir. Mağazada oluşan ortalama aydınlık düzeyi %40 oranında azalmıştır. Ancak bu değer de seçilen mağaza tipolojisine göre sağlanması gereken ortalama aydınlık düzeyi değerinden oldukça yüksektir. Önerilen sistemde enerji tüketimi yaklaşık %45 oranında azalmaktadır. Mevcut durumda düzgünlük 0.31 iken, önerilen LED sistemde düzgünlük 0.34 değerine yükselmiş ve seçilen mağaza tipinde sağlanması gereken değere yaklaşılmıştır.

LED sistemin enerji tüketimi mevcut sisteme göre çok düşüktür. Enerji kaynaklarının tükendiği, sera gazı salınımının giderek arttığı bir dönemde en büyük enerji tüketimi oranına sahip aydınlatma sistemlerinin enerji tüketimini düşürmek için LED'ler gibi daha az enerji tüketen sistemler tercih edilmelidir. LED'lerin enerji tüketimlerinin düşük olması ve ömürlerinin uzun olması günümüzde tercih sebebi olmaktadır. Ancak istenen aydınlık düzeylerinin elde edilmesi için gereksinim duyulan armatür sayısının dikkate alınması gerekmektedir.

Bu çalışmada, bir giyim mağazasında mevcut aydınlatma sistemi ile önerilen sistemin enerji verimliliği yönünden karşılaştırması yapılmıştır. Önerilen sistemin bu yönden olumlu olduğu ancak iki sistemin mağaza ortamında yarattığı görsel etkilerin farklı olduğu belirlenmiş ve mağaza aydınlatma tasarımında görsel konfor koşullarının sağlanması, mağaza profiline uygunluk ve müşterilerin görsel algısı gibi konuların önemi vurgulanmıştır.

KAYNAKLAR

1. S. Soygeniş, "Mimarlık Düşünmek Düşlemek", YEM Yayın, (2006).
2. S. Zukin, "The Cultures of Cities", Blackwell, (1995).
3. Özaydın, G., Özgür, E., "Büyük Kentsel Projeler Olarak Alışveriş Merkezlerinin İstanbul Örneğinde Değerlendirilmesi", Türkiye Mimarlar Odası Mimarlık Dergisi, 347, (2009). http://www.mimarlarodasi.org.tr/mimarlikdergisi/index.cfm?sayfa=mimarlik&DergiSayi=361&RecID=2086, İzlenme Tarihi: 16 Mart 2013
4. L.M. Roth, "Mimarlığın Öyküsü", Kabalcı Yayınevi, (2006).
5. <http://www.kapalicarsitarihi.com/index.php?option=com_content&view=article&id=111&Itemid=61>, İzlenme Tarihi: 22.12.2013
6. V. Barr, C.E. Broudy, "Designing to Sell", McGraw-Hill, Inc., (1990).
7. M. Özkaya, "Aydınlatma Tekniği", Birsen Yayınevi, (2000).
8. BS EN 12464-1, "Light and Lighting-Lighting of Work Places-Part:1 Indoor Work Places", BSI (2011).
9. D.L. DiLaura, K.W. Houser ve diğ., "The Lighting Handbook", Illuminating Energy Society of North America, (2011).
10. H. Descotes, "Architectural Lighting: Designing with Light and Space", Princeton Arch. Press, (2011).
11. J. Turner, "Designing With Light – Retail Spaces", Roto Vision, (1998).
12. G. Steffy, "Architectural Lighting Design", John Willey & Sons, (2008).
13. S.M. Winchip, "Fundamentals of Lighting", Fairchild Books, (2011).
14. S. Russel, "The Architecture of Light", La Jolla, (2011).
15. IESNA, "The Lighting Handbook", Illuminating Energy Society of North America, (2011).
16. U.S. Green Building Council, http://www.usgbc.org/leed/rating-systems, İzlenme Tarihi: 13.01.2014
17. BREAM, "New Construction Non-Domestic Buildings Technical Manual SD5073-3.0", BRE Global, (2012).
18. Lamp 83 firma yetkilisi ile yapılan görüşme, Görüşme Tarihi: 30.04.2013

SİNEMASAL AYDINLATMA TEKNİKLERİ VE ATMOSFER YARATIMI: SİYAH KUĞU FİLM ÖRNEĞİ

Y. İç Mimar Meriç Bilen[a]
Y. Doç. Dr. Esra Sakınç[b]
Maltepe Üniversitesi Tasarım ve Mimarlık Fakültesi

ÖZET

Sinema özünde, öykü anlatan, kurgulandığı zaman-mekan içinde bir fikri ya da temayı iletmek için kullanılan bir aktarım, bir anlatı dilidir. Sinemada, izleyicinin anlatının içine dahil olması, anlatımdan etkilenmesi, "gerçekçilik" yani hikayenin iç gerçekliğinin sağlanması temel hedeflerdir. Bir sinema yapıtının hedeflerine ulaşması, aynı estetiksel kaygının parçası olan birçok olgusal ve donanımsal film elemanının bütünlük içinde ele alınmasıyla olanaklıdır. Bir filmin karmaşık yapılanması içinde resmi gösteren "ışık" yani aydınlatma düzeni, teknik olarak görselliği sağlarken aynı zamanda estetiği yapılandırır, duygu ve düşüncenin aktarımında kilit rol oynar. Aydınlatma tasarımı, sahnenin dolayısıyla filmin dramatik yapısının oluşumunda en önemli etkenlerden biridir ve film süresince tutarlılık göstermesi beklenir. Sinemasal aydınlatma için standart bir yöntem olamayacağı, her filmin ışığının kendine özgü olacağı açıktır. Bununla birlikte bir filmin aydınlatma tasarımı çoğu zaman, temel ilkeler ve genel kurgu bağlamında mekan ve/ya da set ortamına göre sinemasal aydınlatma tekniklerini temel alarak şekillenir. Bu çalışmada sinemada aydınlatma tekniklerinin anlatım açısından etkinliğini incelenmiştir. Bu bağlamda temel sinemasal aydınlatma kavramları özetlenerek, tekniklerin yarattıkları etki ve kullanım alanları "Siyah Kuğu" filmi örneği üzerinden tartışılmıştır. Çalışmada Siyah Kuğu filminin anlatım gücü ve etkisi - aydınlatma teknikleri ilişkisi seçilen film kareleri üzerinden irdelenmiş, aydınlatmanın filmin genel bütünlüğü içindeki etkinliği araştırılmıştır.

Anahtar sözcükler: Sinemasal aydınlatma ve teknikleri, Sinemada atmosfer-mod yaratımı, Siyah Kuğu filmi

ABSTRACT

Cinema as a storyteller is a transform media, a narrative language that is used to convey an idea or a theme. The main objective of a film is to impress and incorporate audience into narrative and to ensure the internal reality of the story. It is only possible to achieve these goals is by integrating all factual and hardware elements that have the same aesthetical concerns. Light that shows the picture and technically ensures visuality in the complex structure of a film also configures the aesthetic and plays a major role in transforming of the idea and emotion. Lightening design is an important factor for the dramatic impact of the scene and film so it is expected to show consistency during the whole film. It is obvious that each film has its unique "light" and there is no standard method for cinematic lighting. However lighting design of a film mostly takes shape by basing on fundamental cinematic lighting techniques according to theme and editing of the scene.

The aim of this paper is to investigate the cinematic lighting techniques in terms of expression. In this context the impact and usage of lighting techniques have been discussed by the "Black Swan" film case with summarizing cinematic lighting concepts in the beginning. In this study the relation between expression impact and lighting techniques of Black Swan film have been examined by film pictures and the efficiency of lighting in the integrity of the film has been discussed.

Key words: Cinematic lighting techniques, Creation of mood and atmosphere , Black Swan film

[a] e-posta adresi: bilenmeric@hotmail.com
[b] e-posta adresi: esrasakinc@maltepe.edu.tr

1.GİRİŞ

Sinema, teknik anlamda, hareketin belirli aralıklarla parçalanıp, görseller halinde sıralı dizilimi, ardı ardına gösterimi ve gözün görsel dizisini hareket ediyormuşçasına algılamasına yani hareketli görseller düzenine dayanır. Dünyadaki gelişim ve değişimleri anında yansıtabilme; güç ve anlayışına sahip olan sinema; sosyo-kültürel, ekonomik ve teknolojik değişimlere paralel olarak değişir, gelişir ve toplumların sosyal ve kültürel örgütlenme biçimlerini belgelediği için bir anlamda 'mekânsal hafıza' işlevi de olan önemli bir kaynaktır.
Sunum dili görsellik olan sinemada, mekânsal, zamansal ya da karaktere özgü parametrelerin, gerçekçi biçimde yapılandırılması ve aktarılması amaçlanır. Dış dünyadan izole edilen ortamda izleyici, sinemasal gerçeklikle karşı karşıya bırakılır, filmin içine dâhil edilir ve izleyenin filmsel karakterle özdeşleşmesine, konunun ana fikrinin, temanın izleyicilere etkili biçimde aktarılmasına çalışılır. İzleyen daha önce bulunmadığı yer, karşılaşmadığı durum ve kişilerle sinemasal kurgu üzerinden bir araya gelir. Görsel sanatlar içinde, herhangi bir konuya dair, tüm ölçütlerin bu denli gerçekçi kurgulandığı, başka bir anlatı düzeni yoktur. Bu yüzden denilebilir ki; görselin etki düzeyi; izleyene sunduğu dünyanın algısal anlamda yaşanılırlığı ile doğru orantılıdır. Bu nedenle, görselliği oluşturan tüm elementlerin; gerçekliğine uygun şekilde yapılandırılması, sinemanın gelişim sürecinin de temelini oluşturan önemli bir etkendir. Görüntüye sesin eklenmesi, siyah-beyaz görüntünün renkli hale getirilmesi, makyaj hileleri, 3 boyutlu teknolojiler hatta koku ve dokunma gibi algılarla her seferinde daha inandırıcı ve etkili görsellerin oluşturulması sağlamıştır. Yaratılan atmosfer ister fantastik bir âlem, isterse olağan bir duruma ait olsun, yapılandırma en gerçekçi şekilde görselleştirilemez ise; filmde 'yapaylık' hissine neden olur.
Aydınlatma, sinemada gerçekçiliğin oluşturulmasında en önemli etkenlerden biridir ve yalnızca görünürlüğünün sağlanmasından çok daha fazlasıdır. Filmde, mekânların (sahnelerin) istenilen farklı atmosfer/duygu durumlarında sunulabilmesi; aydınlatmanın niteliksel ve niceliksel değerlerinin uygun ve tutarlı bir şekilde kurgulanması ile mümkündür
Sinemasal aydınlatmanın; atmosfer/duygu yaratımı, perspektif, yönlendirme, estetik vb. yaratımındaki etkinliğiyle filmin gerçekliğini, temasını, dilini ve gücünü belirleyeceği açıktır. Başka bir deyişle filmde kullanılan aydınlatma teknikleri sinemasal anlatımı belirleyen temel etkenlerin başında gelir. Bu çalışmada sinema dili içinde aydınlatmanın yeri ve önemini tartışmak ve ortaya koymak amaçlanmaktadır. Bu bağlamda, çalışma kapsamında "Black Swan" filmi çekim kareleri üzerinden aydınlatma teknikleri açısından çözümlenmiş, irdelenmiş ve tekniklerin etkinliği tartışılmıştır. Atmosfer ve duygu yaratımı açısından sinemasal aydınlatmada, ışığın doğrultusal yapısı, gölge, renk gibi nitelik konuları daha etkin olduğundan bu çalışma kapsamında aydınlığın nicelik boyutu incelenmemiştir.

2. SİNEMASAL AYDINLATMA

Bir film sahnesi için kurgulanan sinemasal aydınlatma, kameranın çekim yapabilmesini için yeterli düzeyde aydınlığı sağlamasının ötesinde; mekânsal/zamansal yapılanma kurgusu içinde, yönetmenin belirlediği anlatım dilini en iyi şekilde sağlayan, güçlendiren, ışık kaynakları düzenlemesi olarak tanımlanabilir. Aydınlatma tasarımı; yapım öncesinde düşünülmesi ve üzerinde titizlikle çalışılması gereken bir konudur. Sinemasal aydınlatma düzenleriyle ilgili tek bir yaklaşım bulunmayışı; filmin yapılacağı donanımın iyi tanınmış olmasını, 'anlık-yerine uygun çözüm' kararlarının verilmesini ve sinemasal tekniklerin yapılandırılmasını gerektirmektedir. Sinemasal aydınlatma tasarımının nasıl olacağı, hangi tekniklerin kullanılabileceği, filmin temel

kurgusu ve dilinin yanında; *Çekim nerede ve ne zaman yapılacak? Karakterin modu ne? Duyguları ne? Mekânın atmosferi nasıl? Çekilen hikâye neyi anlatıyor?* gibi sorular çerçevesinde belirlenir. Sinema da ışık, istenilen imajları vurgulayarak ön plana çıkarabildiği gibi istenilmeyenleri gizleyebilir, varlığı gibi yokluğu da önemlidir. Sinemasal yaratıda estetik kaygı, görüntüyü oluşturan tüm parçaların kendi içinde ve birbirleri ile uyum içinde olmasını gerektirir ve ritim, denge, uyum gibi estetik ilkelerinin filmsel görüntüde de yaratılması beklenir. Film türü ve temasına uygun yapılan aydınlatma düzeni ile resimsel bütünlük sağlanır.

Çekim için varlığına gereksinim olsa da oluşacak görüntünün estetiksel boyutunu belirleyen temel etkenler ışık akısının niceliğinden çok aydınlığın niteliksel özellikleridir. Sinemasal aydınlatma düzenlerinin oluşturulmasında öne çıkan temel etkenler aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

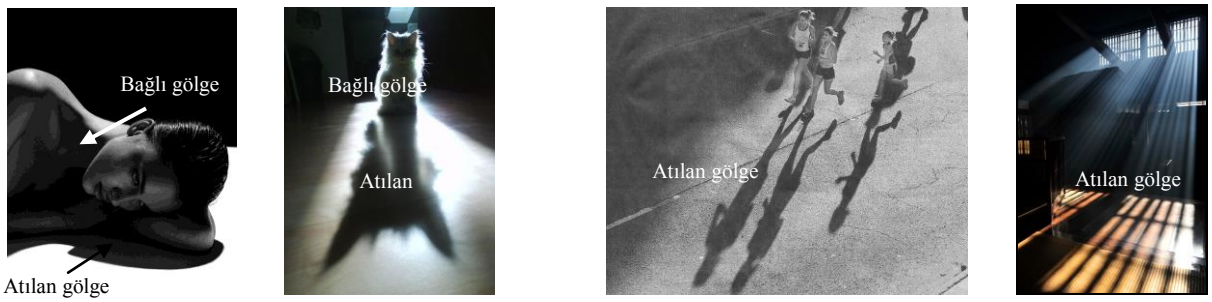
1.Işığın doğrultusal yapısı *(doğrultulu – yayınık):* Doğrultulu ışık, düz çizgiler halinde yayılım gösteren; belirgin, ışık/gölge karşıtlıkları oluşturan, yoğun ve yönlendirilmiş, yayınık ışık ise; geliş yönü belli olmayan,geldiği yüzeyde net olmayan veya belirsiz gölgeler oluşturan ışık olarak tanımlanabilir **[1].** Konu hat ve dokularının belirginleşmesi için doğrultulu ışık, gölgelerin yumuşatılması/detay arttırılması gibi durumlarda yayınık ışık kullanılır **[2].** Sinemasal aydınlatmada doğrultulu ya da yayınık ışık, neden olduğu gölge özelliklerinden dolayı birçok kaynakta; ***sert ışık ve yumuşak ışık*** olarak tanımlanmaktadır.

2.Işık Rengi*;(sıcak -soğuk tür-doymuşluk)***:** Işığın sahip olduğu renksel tür; doymuşluk, özellikleri ya da beyaz ışığın sıcaklık-soğukluk değerleri olarak özetlenebilir. İmgesel çağrışımlar, karakterlerin duygusal mod değişimi, mekânsal algı, farklı ışık renklerinin kullanımıyla varsıllaştırılmaktadır.

3.Işık Yönü *(ön/arka/alt/üst/yan)**:*** Kaynaktan çıkan ışığın aydınlatılacak konuya göre yönü olarak tanımlanabilir. Işığın, vurgulanmak istenen; kişi, obje ya da konuya geliş açısı, sahnenin görüntüsünü önemli derecede etkiler. Yön için tek bir doğru yöntem bulunmaması ile birlikte uygun yönün belirlenmesinde mizansende bulunan karakterin konumu, hareketi, sahnenin taşıdığı duygusal yapı etkilidir.

4.Gölge *(sert-yumuşak) (bağlı/atılan)**:*** Gölge, bilinçli kullanımlarla filmin görsel etkisini istenilen derecede güçlendirdiğinden, derinlik sağladığından, nesneleri boyutlandırdığından, konumlandırdığından, çevresel ilişkiyi kurduğundan dolayısıyla kurgu bir ortamın gerçekçiliği üzerinde belirleyici olduğundan sinemasal aydınlatmada temel alınan etmen olarak karşımıza çıkmaktadır. Gölge "bir nesneye ışık kaynağından gelen ışık çarptığında, nesnenin aydınlanan yüzünün tersinde oluşan karanlık" olarak tanımlanmaktadır. **[3]** Bilindiği gibi gölgeler; gölgenin sınırının netliğine bağlı olarak sert ya da yumuşak, başka bir kaynaktan ışık alıp almamasına bağlı olaraksa kara ya da saydam olarak tanımlanmakta, gölgenin bu özellikleri ise kaynak boyutuna, uzaklığına, ışık alanı özelliklerine, ışık kaynaklarının sayısına ve konumuna bağlı olarak değişmektedir. Sinemasal aydınlatma ise kendi öncelikleri bağlamında gölgeler, sert, yumuşak olarak ele alınmakta, ayrıca gölgenin oluştuğu alanın, ışığı engelleyen nesnenin kendisi ya da başka bir yüzey olmasına bağlı olarak gölgeler düştükleri yere göre **bağlı** ya da **atılan** gölge olarak tanımlanmaktadır **[4].**

- **Bağlı Gölge:** *ışığı engelleyen nesnenin üzerinde oluşan gölgelerdir. Bağlı gölge, yüzeyin yapısını ortaya çıkartıp, nesnenin formunu belirlenmesinde önemlidir. (Şekil 1a)*
- **Atılan Gölge:** *ışığı engelleyen nesnenin bir başka yüzey üzerine attığı gölgedir. Gölge üzerinde görülen yüzeye ait değildir, gölge durumunu yaratan diğer nesneye aittir. (Şekil 1b)*



Şekil 1 a)Bağlı Gölge b)Atılan Gölge

Tüm bu aydınlatma özelliklerinin, filmin tematik ve kurmaca düzenine uygun olarak her sahne çekimden önce, tekrardan tanımlanması ve kurulması gerekmektedir. Her film, her sahne için farklı bir aydınlatma düzenin olacağı, konunun deneysel çalışmalara açık olduğu ve çoğu düzenin deneme yanılma yöntemi ile kurulacağı açıktır ancak bununla birlikte sinemasal aydınlatmada belirli anlatım biçimlerine yönelik geçerliliği kabul edilmiş ve temel olarak kullanılan aydınlatma teknikleri bulunmaktadır.

2.1. Sinemasal Aydınlatma Teknikleri

Işık kaynağı doğal ya da yapma olsun sinemasal aydınlatma ağırlıklı olarak ışık ve gölge arasındaki denge üzerine kuruludur ve ışık ile gölgenin ortam koşullarına göre düzenlenmesi olarak tanımlanabilir. Bu düzenleme konu ya da nesnelerin formsal durumlarını ve birbirleriyle olan ilişkilerini; zamansal ve uzaysal bağlamlarda aktarımını sağlar. Biçimsel ya da boyutsal algılamada; konunun sınırlamaları veya özellikleri gölge ile tanımlandığından sinemasal aydınlatmada gölge, çoğu düzenin temelini oluşturur. Nesneler üzerinde oluşacak gölgelerin istenen biçimde denetlenebilmesi, ayarlanabilmesi için sahne aydınlatmasında temel olarak "**üç noktalı"** aydınlatma düzeni kullanılır **[5].**

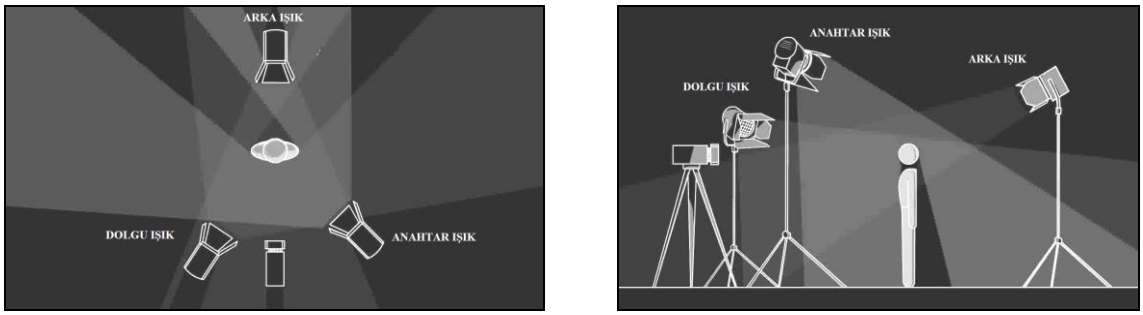
Üç Noktalı Aydınlatma Düzeni

Bu temel sahne ışıklandırma düzeninde; üç adet birbirinden farklı aydınlatma kaynağı bulunur

1. Anahtar ışık: çoğunlukla kameranın yanında bulunan ve konuyu aydınlatan ana ışık kaynağıdır. Aydınlatama tasarımında öncelikli olarak anahtar ışık konumlandırılır ve diğer ışık kaynaklarının, ek donanımlarının yerleştirilmesine temel oluşturur

2. Dolgu ışık: anahtar ışığa göre daha düşük yoğunluktaki dolgu ışık, anahtar ışığın neden olacağı gölgeleri aydınlatarak yumuşatma ve görsel anlatımı güçlendirme amacıyla kullanılır.

*3.Arka ışık***:** çekimi yapılan sahnenin arka tarafında bulunan ışık kaynağıdır. Konumu nedeniyle çekim nesnesinin gölgesi ön tarafa düşer. Bu durum; nesnenin biçimini ve derinliğini vurgular.



Şekil 2. Üç Noktalı Aydınlatma Tekniği Sahne Kurulumu

Genel bir anlatımla bir sahnenin aydınlatma düzeni yapılandırılırken; önce anahtar ışık konumlandırılır, oluşacak sert gölgeli alanları yumuşatmak amacıyla dolgu ışık eklenir ve konuyu arka plandan ayırıp, derinlik elde etmek için arka ışık kullanılır. Çekim sahnelerinin aydınlatma düzenleri kurulurken bu kaynakların nesneye yakınlık/uzaklıkları, birbirlerine göre konumları, yönleri ve ışık akısı yoğunlukları gibi değişkenlerin yapılandırılması önem kazanır.
Sahne aydınlatmasında ışık kaynaklarının konumlandırılasında ve özelliklerinin belirlenmesinde temel olan ölçüt sahnenin aktarması gereken duygu ve ifadedir. Söz konusu anlatımın yapılandırılmasında genel olarak kullanılan sinemasal aydınlatma teknikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1.Düşük Anahtar Aydınlatma: İmajda koyu/karanlık alanların fazla, ışık/gölge karşıtlığının yüksek olduğu, aydınlatma tekniğidir. Korku, gerilim ve gizem türü filmlerde sıklıkla kullanılır. (Şekil 3a)

2.Yüksek Anahtar Aydınlatma: Aydınlık alanların fazla olduğu, konu ya da kişilerin aydınlatılmasında; düşük karşıtlığın kullanıldığı aydınlatma tekniğidir. Genel görünümde açık rengin baskın olduğu tekniktir. Komedi, sit kom, drama vb. türlerde yaygın olarak kullanılır. (Şekil 3b)



Şekil 3. a. Düşük Anahtar Aydınlatma b. Yüksek Anahtar Aydınlatma

Sinema endüstrisinin ilk zamanlarından bu yana, filmsel anlatı düzenleri büyük ölçüde aydınlatma teknolojisi üzerinden kurgulanmaktadır. Sinemanın çok öncesinde; özellikle Rönesans sanatçıları, yapıtlarında; yaşanılan dünya, mit ya da efsaneleri en gerçekçi biçimde ifade edebilmeye çalışmışlardır. İlk resimlerin taşıdığı iki boyutlu/ basık görünümden sonra, bu dönemde resme ışık ve gölgenin eklenmesi ile görsel derinlik etkisi sağlanmış ve resim 'üç boyutlu gerçekçilik izleği' kazanmıştır. Caravaggio, Vermeer, Rembrandt gibi sanatçıların, resimlerinde ışık-gölge kullanım biçimleri fotografik sanatları etkilemiştir. Sinemada ışığın etkin kullanımın sağlanmasında söz konusu ressamların yapıtları üzerinde çalışmalar yapılarak, ışık/gölge kullanımı bağlamında geliştirilen teknikler, aydınlık/karanlık ilişkisine göre aşağıdaki şekilde isimlendirilmektedir.

1.Chiaroscuro Aydınlatma:

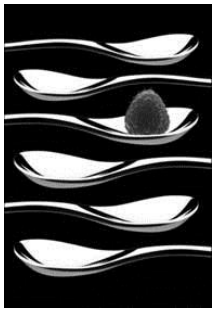
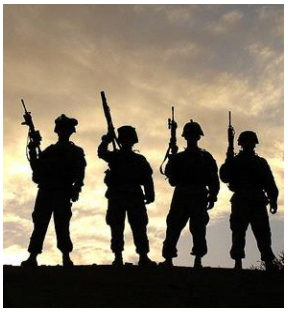
"Işık ve gölgenin birlikteliği" anlamına gelen chiaroscuro; objeler arasındaki uzaklığı hesaba katarak karanlık bölgeler de dâhil sahnenin her yerinde 'ışığın varlığını duyumsatma' tekniğidir.**[5].** Açık ve koyu alanların karşıtlık derecesine ve ilişkilerine göre, Chiaroscuro aydınlatma biçimsel anlamda üç gruba ayrılır:

a. Rembrandt Tekniği: Resimsel derinliği en iyi sağlayabilen aydınlatma tekniği olarak tanımlanabilir. Görsel üzerinde vurgulanması gereken alan dikkatlice ışıklandırılırken, diğer alan kasten yarı karanlık ya da tam karanlık bırakılır. Konunun aydınlatılması için vurgusal aydınlatma kullanılır. Gölgelendirme aşamalı olarak gerçekleştirilir. (Şekil 4a)

b. Cameo Tekniği: Burada birincil amaç; odak noktasının tek bir yerde toplanması ve vurgunun aydınlatılan nesne üzerine yapılıp, arka planın tamamen karanlıkta bırakılmasıdır. (Şekil 4b)

c. Siluet Tekniği: Konunun genel hatlarını ve görselin çevresiyle olan ilişkisini belirleyen bu tekniğine göre; konu (ön plan) karanlık görünürken, arka plan aydınlıktır. Işık-gölge alanlar arasındaki karşıtlık oranı yüksektir. (Şekil 4c)

2.Notan Tekniği: Düz aydınlatma tekniğini olarak da tanımlanır, tonların olmadığı görüntüler oluşturmak için kullanılan tekniktir. Bu teknikte genellikle yayınık ışık alanı oluşturulur ve ışık nesne üzerine birçok yönden gelir, kompozisyonda karanlık ve aydınlık alanlar arasında tonlamalar bulunmaz ve ortamda vurgulanan tek bir konu olmaz. (Şekil 4d)


Şekil 4.a) Rembrandt b) Cameo c) Siluet d) Notan.

3. SİYAH KUĞU FİLM ÖRNEĞİ

Ana fikri, kişinin gerçeklikle kurduğu ilişkinin, hırsın ve öfkenin de beslemesiyle artan tutku ve zevkin etkisiyle bozulması üzerine kurgulanan "Siyan Kuğu" filminin senaryosunu Andres HeinzMark, Heyman John J.McLaughlin yazmış, Darren Aronofsky ise yönetmiştir. Siyah Kuğu, öznenin içinde taşıdığı zıtlık ve ikiliğin sınırlara dayanması sonucunda gelen değişimle kişilik parçalanması, gerçekliğinin dağılması konulu bir psikolojik gerilim filmi olarak özetlenebilir. Annesi ile birlikte yaşayan, hiddetli bir annesel süper egonun baskısı altında olan, içine kapanık, utangaç ve kırılgan yapıdaki Nina'nın hikayesini anlatan film, başından sonuna izleyiciyi her an tetikte tutmayı başarmış ve temayı sunması açısından hedeflerine ulaşmış bir yapıt olarak değerlendirilmektedir. Film'in konusu kısaca şöyle özetlenebilir:

Nina, New York'un en saygın bale topluluklarından birinde uzun süredir çalışmaktadır. Topluluk Tchaikovsky'nin 'Kuğu Gölü Balesi' gösterisini yeniden yorumlamak için bir seçim yapacaktır. Ancak bu gösteri için beyaz kuğu ve ikiz kardeşi siyah kuğuyu, aynı balerinin canlandırması istenmektedir. Bu görevi üstlenecek balerinin, beyaz kuğunun; kırılgan, zarif ve masum yanlarını ve siyah kuğunun tutkusunu şehvetini dansında gösterebilmesi beklenmektedir. Nina, beyaz kuğunun naifliğine ve kırılganlığına sahiptir ancak siyah kuğunun sahip olduğu, tutku ve şehvet; San Francisco'dan gelen balerin Lily'de mevcuttur. Bu durum rekabet ortamının doğmasına neden olur. Rolü almayı çok isteyen Nina'nın o güne kadar bastırdığı tüm duyguları yavaş yavaş açığa çıkar. Kendi içinde yaşadığı zıtlıkların mücadelesi sonucunda Nina, sürekli korumaya çalıştığı mükemmeliyetçi ve dengeli ruh halini, yavaş yavaş kaybetmeye ve kontrolünü yitirmeye başlar. Bastırılmış olanın, mevcut olanla yer değişimi ile birlikte kişilik bölünmeleri başlar. Nina, hem bu durumu kontrol altına almak hem de gösteride 'Kuğu Kraliçesi'ni oynamak istemektedir. Film sonunda elde etmeye çalıştığı mükemmelliğe ulaşır ancak artık kontrolünü yitirmiştir.

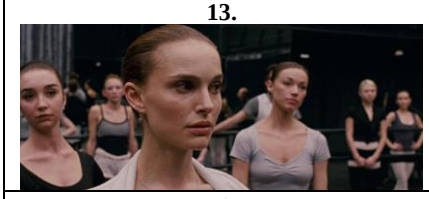
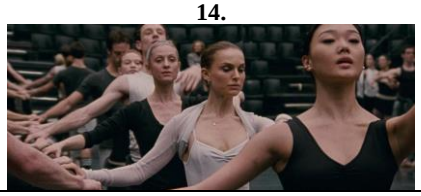
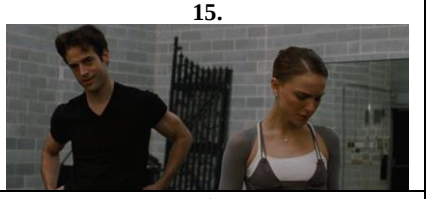
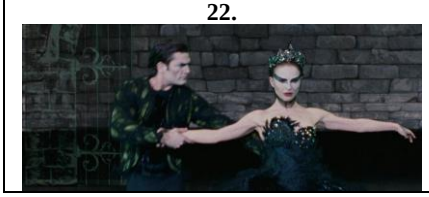
'Siyah Kuğu' filminin; karakterin kendi içindeki dönüşümünü ve gerçek/düşsel arasındaki geçişlerin anlatımındaki başarısında aydınlatma felsefesi ve kararlarının etkinliğini çözümlemek için tez çalışmasında 'Gösterge bilimsel Yöntem' kullanılmış ve aydınlatma özellikleri çok sayıdaki film karesi üzerinden mekan bağlamında tartışılmıştır. Bu çalışmada ise, filmin aydınlatma yaklaşımının, ana fikriyle ilişkisini irdeleyebilmek için seçilen 24 adet film karesi aydınlatma teknikleri bağlamında yaratılmak istenen atmosfer / duygu açısından analiz edilmiştir.

3.2.Siyah Kuğu Filminde Aydınlatma Tekniklerinin Atmosfer Mod Yaratımındaki Etkinliği

Filmde kullanılan aydınlatma teknikleri ve sahnenin atmosferi açısından değerlendirmeleri Çizelge 1'de verilen film kareleri görselleri üzerinden yapılmıştır. Filmin hikayesinde geçen farklı mekanlar ele alınmıştır. Aşağıda sırasıyla görsel numarası, mekan ismi, aydınlatma tekniği, ışık ve renk düzeni, sahnenin atmosfer ve moduyla ilgili değerlendirmeler verilmiştir. Bale gösterisi çekimlerinin yapıldığı mekan kısaca tiyatro s., opera binası ofisleri kısaca ofis olarak adlandırılmıştır.

1. ***Tiyatro S._ Düşük anahtar*** Chiaroscuro **/** Yukarıdan doğrultulu ışık, türsüz ortam, sert gölge / Kasvet, belirsizlik, naiflik, zarafet ve kaybolma.
2. ***Tiyatro S._ Düşük anahtar*** Chiaroscuro**,** Rembrandt **/** Yukarıdan doğrultulu ışık, türsüz ortam, sert gölgeler, yüksek ışıklılık karşıtlığı / Sınırlanmış, kasvetli, su- kuğu simgeleme.
3. ***Tiyatro S._ Düşük anahtar*** Chiaroscuro Cameo **/** Yukarıdan doğrultulu ışık, yüksek ışıklılık karşıtlığı / Vurgu, acı, hüzün, kaybolmuşluk.
4. ***Tiyatro S._ Düşük anahtar*** Chiaroscuro**,** Rembrandt **/** Doğrultulu cephe aydınlatma, türsüz ortam yüksek ışıklılık karşıtlığı / Belirsizlik, kaybolmuşluk, ikilik.
5. ***Tiyatro S._ Düşük anahtar*** Chiaroscuro Cameo **/** Doğrultulu cephe aydınlatma, yüksek ışıklılık karşıtlığı, türsüz ortam / Vurgu
6. ***Tiyatro S._ Düşük anahtar*** Chiaroscuro **/** Doğrultulu arka (siluete yakın) aydınlatma, bağlı gölge / Işık olmasına karşın öznenin net görülememesi, belirsizlik ve merak.
7. ***Bar _ Düşük anahtar*** Chiaroscuro **/** Doğrultulu yan aydınlatma / Belirsizlik ve tedirginlik
8. ***Prova salonu _ Düşük anahtar*** Chiaroscuro / Doğrultulu yan aydınlatma, karakterin duygusal durumuna - yüz ifadesine odaklanma, belirsizlik, korku, kasvet ve tedirginlik.
9. ***İzleyici s. _ Düşük anahtar*** Chiaroscuro / Özneye yönelik yan aydınlatma, karakterin duygusal durumuna (yüz ifadesine) odaklanma, endişe ve korku
10. ***Bar _ Düşük anahtar /*** Doğrultulu yan ışık, türsüzlük / Belirsizlik, huzursuzluk, endişe kuşku
11. ***Bar _ Düşük anahtar /*** Yan aydınlatma, kırmızı ışık, yüksek ışık gölge karşıtlığı / Gerçek dışılık, belirsizlik, tutku, tehlike, zevk ve acı.
12. ***Bar _ Düşük anahtar /*** Yayınık ışık, düşük karşıtlık, yeşil ışık / gel-git, dur-geç, artma-eksilme döngüsü içinde dans sahnesi süresince ani duygu değişimleri, öznenin kişilik geçişleri, dengesizlik, karasızlık, rahatsız, tedirgin edici
13. ***Prova salonu _Yüksek anahtar (notan) /*** Yayınık üst ışık, düşük ışık gölge karşılığı, türsüzlük / Odaklanmama, eşitlik, durağan, sıkıcı, tedirgin, gergin.
14. ***Prova salonu _Yüksek anahtar (notan) /*** Yayınık üst ışık, düşük ışık gölge karşılığı, türsüzlük / Durağan, eşitlik, sıkıcılık, tedirginlik.
15. ***Prova salonu _Yüksek anahtar (notan) /*** Yayınık üst ışık, düşük ışık gölge karşılığı, düz anlatım, düşük gerilim, tedirginlik, endişe.
16. ***Ofis_Düşük anahtar /.*** Doğrultulu yan ışık, türsüzlük / belirsizlik, kasvet, düşük gerilim
17. ***Öznenin bedeni _Yüksek anahtar /*** Doğrultulu ışık, bağlı+atılan gölge denetimi / dokusal özelliklere vurgu ve ortaya çıkarılması, ayrıntıların algılanması.

Çizelge 1.Siyah Kuğu Film Kareleri

1. 	**2.** 	**3.** 
4. 	**5.** 	**6.** 
7. 	**8.** 	**9.** 
10. 	**11.** 	**12.** 
13. 	**14.** 	**15.** 
16. 	**17.** 	**18.** 
19. 	**20.** 	**21.** 
22. 	**23.** 	**24.** 

18. ***Ev yatak o. _Yüksek anahtar /*** Yayınık ışık, kırmızı (pembe) ve yeşil renk kullanımı, düşük ışık gölge karşıtlığı, yüksek ışıklılık karşılığı (annenin siyah elbisesi) / Sınırlandırılmış, baskıcı, boğucu, sıkıcı.
19. ***Ev mutfak _Düşük anahtar /*** Doğrultulu yan ışık, yeşil renk kullanımı / Sınırlandırılmış, kasvetli, sıkıcı, boğucu.
20. ***Ev banyo _Yüksek anahtar*** Notan / Yayınık ışık, gölgesiz ortam, sınırlı renk kullanımı (pembe ve yeşil), huzurlu, donuk ve sabit.
21. ***Tiyatro s. _Düşük anahtar*** Chiaroscuro / Doğrultulu ön aydınlatma, yüksek ışıklılık karşıtlığı, soğuk beyaz ışık, türsüz ortam / Ayrıntıların netliği, kararlı, sert, emin, tehditkar.
22. ***Tiyatro s. _Düşük anahtar*** Chiaroscuro / Doğrultulu ön aydınlatma, , yüksek ışıklılık karşıtlığı, türsüz ortam / Ayrıntıların netliği kararlı, saldırgan, emin.
23. ***Tiyatro s. _Yüksek anahtar /*** Doğrultulu ön aydınlatma, düşük karşıtlık, türsüz ortam / Sakin, huzur, hüzün.
24. ***Tiyatro s. _Yüksek anahtar /*** Doğrultulu yan aydınlatma, yumuşak gölgeler, yüksek arkaplan ışıklılığı, alan derinliği / neşe, endişe ve şaşkınlık.

Dönüşüm, ikilik, gerçekliğin yitirilmesi, parçalanma, tutku-hırs-zevk temalarını, gerilim, korku, endişe, tedirginlik belirsizlik sıkıcılık, sıkışmışlık, atmosferleri yaratarak aktarmaya çalışan filmin çeşitli kareleri üzerinden araştırılan "aydınlatmanın atmosfer yaratımındaki etkinliği nedir" irdelemelerinin sonucu aşağıda sıralanmıştır.

- Çoğu psikolojik gerilim filminde olduğu gibi çok sayıdaki yakın plan yüz çekiminde ağrılıklı olarak yan ışık kullanılarak karakterin yüzünün yarısının aydınlatılması sağlanmıştır. Bu durumda yarısı karanlıkta kalan yüzün ifadesi belirsizleşmiş, değişken ve tedirgin edici bir ortam oluşmuştur. Öznelerin yüzlerinin bir yanının sürekli karanlıkta olması belirsizlik, iyi-kötü, parçalanma temalarını desteklemektedir.
- Filmin hemen hiçbir sahnesinde neşe ve canlılık barındıran yüksek anahtar yumuşak gölge, canlı renkler kullanılmamıştır. Sahnede bulunan hemen hiçbir nesnede kırmızı (pembe) ve yeşilin dışında renk gözlenmemektedir. Renklerin hemen hepsi türsüze yakın grilerin değişik değerlerindedir. Bu durum ise karakterin yaşadığı baskıcı, sıkıcı, renksiz hayatı film boyunca izleyiciye etkin biçimde aktarmaktadır.
- Filmde önemli yer tutan final dans sahnesinde aydınlatma, dramatik görsellik sağlayacak doğrultulu aydınlatma ile sağlanmış sert gölgeler elde edilmiştir. Bu sahnelerde bazı kırmızı ve yeşil ışık kullanımının dışında nerdeyse hiç renk kullanılmamış, kostümler dahil sahnedeki hemen her şey siyah ve beyaz olarak seçilmiştir. Beyaz kuğu çekimlerinin çoğunda üst aydınlatma kullanılarak daha belirsiz kırılgan dramatik görüntüler elde edilirken, siyah kuğu çekimleri cephe aydınlatılmasıyla net ve kararlı, kendinden emin ve kadınsı izlenimler veren görüntüler elde edilmiştir.
- Gerilim atmosferinin ağırlık kazanmadığı sahnelerde yayınık ışık ve yüksek anahtar aydınlatma kullanılarak hiçbir yere tamamen odaklanılmayan ortamlar oluşturulmuştur. Yüksek anahtarın neden olabileceği canlı sahne izlenimi ise türsüz renklerin seçimi ve gölgelerin en aza indirilmesiyle basık, sıkıcı ve tedirgin edici ortamlar yaratılmıştır.
- Filmin kahramanının annesiyle yaşadığı ev sahnelerinde ise renk kararları ve düşük anahtar, gölgeli aydınlatma kararlarıyla evin dar mekanları ile birleşerek sınırlandırıcı ve baskıcı etki güçlendirilmiştir.
- Gerilimin yükseldiği, öznenin kişilik dönüşümleri yaşadığı, gerçekliğini yitirmeye başladığı tutku ve şehvetin baskın olduğu sahnelerde doymuşluğu yüksek kırmızı ve yeşil ışık kullanılmış bu durum ise karanlık ortamlar belirsiz görüntüler, gerçek üstü sahneler, tedirgin edici mekanlar oluşmasına katkıda bulunmuştur.

- Dans sahnesinde ağırlıklı olarak Chiaroscuro aydınlatma tekniği kullanılarak yüksek ışık/gölge karşıtlıkları yaratılmış ve genel olarak karakterin tedirgin ve huzursuz olduğu, korku duyduğu ortamlarda kullanılmıştır.

Sonuç olarak film süresince gerilim, korku, belirsizlik, tedirginlik, sıkıntı ve bastırılmışlık etkisi aydınlatma teknikleri ile tutarlı bir biçimde desteklenmiştir ve filmin başarısında diğer tüm sinemasal donanımların yanında aydınlatma anlayışının da belirleyici olduğu net biçimde görülmektedir.

4. SONUÇLAR

Görselliğin temeli olan ışık, sinemasal üretim yapılması ve çekim aletlerinin çalışması için gereklidir bunun ötesinde ise istenen duygunun aktarılmasında çalışmanın sanatsal bir değer kazanmasında aydınlatma tasarımı önemli yer tutar. Aydınlatmanın müzik gibi duyguları etkileme gücü olduğundan görsel sanatlarda önemli bir yere sahiptir bir başka deyişle sinemada ışık, görüntü yönetmenlerinin elindeki fırçadır.
Sinemasal kompozisyonu oluşturan tüm elementler, iletişim kurma ve estetik kaygının birer parçasıdır ve her biri oluşumun tanımlanması için oldukça önemlidir. Bu yapılanma içerisinde, özellikle aydınlatma; görünürlüğü ve estetiği oluşturma etkin bir öğe olmasının yanında görüngübilim ya da simgelerle iletişimin sağlanması, duygu düşünce ve temanın aktarılmasında önemli bir yere sahiptir. Aydınlatma ile oluşabilecek birçok etki aydınlatmanın doğru kullanımına bağlıdır. Bu nedenle hangi aydınlatmanın hangi durumda ya da atmosferde kullanılacağını saptamak önemli bir aşamadır. Yeterli ışık çekim niteliği açısından önemli olsa da özel efektlerin oluşabilmesi, istenen atmosferin yaratılması, estetik görüntülerin elde edilmesi için doğal ışık ve özel ışık kaynaklarının kullanılması ve ışıkla gölgenin bir arada yeni bir gerçeklik ve yanılsama ortaya çıkarması gerekir.
Aldığı birçok ödül ile nitelikli bir eser olduğunu kanıtlayan "Siyah Kuğu" filminde de açıkça görüldüğü gibi aktarılmak istenen duygunun film süresince istikrarlı biçimde aydınlatma kararları ile desteklenmesi filmin başarısında önemli yer tutmaktadır. Bu bağlamda sinemasal aydınlatma, kendi teknikleri ve yaklaşımları kapsamında deneysel çalışmalara olanak veren, aydınlatma bilgisinin görüntü tasarımına yönelik kullanılabileceği ve araştırmaya açık zengin bir alan olarak durmaktadır.

5. KAYNAKLAR

1. G. Millerson, "Sinema ve Televizyon İçin Aydınlatma Tekniği, Es Sinema Tekniği, İstanbul,2007.

2. K.Thompson, D.Bordwell, " Film Art An Introduction ", Sixth Edition, The McGraw-Hill Companies, America,2001.

3. http://tr.wikipedia.org/wiki/Gölge

4. TC. Milli Eğitim Bakanlığı ," Radyo Televizyon- Işığın Gerekliliği ", MEGEP-Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Ankara 2010.

5. F.Bayram,"Işık ve Aydınlatma: Işığın Televizyon ve Sinemada İşlevsel Kullanımı Üzerine Bir Değerlendirme" Arş. Gör. Dr., Akdeniz Üniversitesi İletişim Fakültesi,Erciyes İletişim,Temmuz 2009.

OKUL BİNALARINDA DOĞAL AYDINLATMA GEREKSİNİMİNİN TASARIM PARAMETRELERİ BAĞLAMINDA İRDELENMESİ

Mine Çelebi Yazıcıoğlu[a]
Y.Doç.Dr. Gülsu Ulukavak Harputlugil[b]
Prof. Dr. Selahattin Önür[c]
Karabük Üniversitesi S.F.T.G.T.F. 100. Yıl, Karabük, 78050

ÖZET

Görsel konfor, mekanların işlevine göre uygun aydınlatma tasarımının gerçekleştirilmesini gerektirir. Mekanda yeterli aydınlık düzeyine erişebilmek için öncelik, doğal aydınlatma koşullarının sağlanabilir kılınması olmalıdır. Günışığı temel ışık kaynağı olarak binalarda doğru tasarlanıp, kullanıldığında kullanıcıların fizyolojik ve psikolojik konforunu destekleyen ergonomik, dinamik ve verimli mekanlar oluşmaktadır.Günışığı, günün saatine, mevsimlere, atmosfer koşullarına bağlı olarak değişken, devingen bir nitelik gösterir. Gün ışığı ve bina ilişkisini çevresel (coğrafi konum) ve yapısal (yerleşim, form, bina açıklıkları, fonksiyon) faktörler bağlamında irdelemek mümkündür. Günışığından yüksek oranda yararlanma beklenilen yapılardan biri kuşkusuz okul binalarıdır. Öğrencilerin başarı ve verimliliğinde önemli bir payı olan günışığı ile aydınlatılmış dersliklerin tasarımında, iklim bölgesi, yönlenme, binanın çevresi ile olan ilişkisi, dersliklerin büyüklüğü ve derinliği ile uygun orantıda pencere boyutları gün ışığı kullanım performansını doğrudan etkileyen parametrelerdir. Çalışmanın amacı, Türkiye'de farklı iklim bölgeleri için tasarlanacak okul binalarının ve dersliklerin, yukarıda sayılan parametreler bağlamında doğal aydınlatma performansını incelenmek ve optimum koşulları tanımlamaktır. Çalışmada, günışığı performansını değerlendirmek üzere ele alınan değişkenler: pencere boyutları, mekan derinlikleri, coğrafi bölge (Türkiye'nin kuzeyinde-Sinop ve güneyinde-Antakya) ve yön (Kuzey-Güney) olarak belirlenmiştir. Literatüre dayalı elde edilen tip derslik planı, günışığının göreli olarak en verimsiz olduğu 21 Aralık gününde, saat 12:30'daki durumu gözetilerek simülasyona dayalı yöntemle analiz edilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Anahtar sözcükler: Doğal aydınlatma, okul binaları, aydınlatma simülasyonu

ABSTRACT

Visual comfort needs to provide appropriate lighting conditions based on the function of space. In order to ensure adequate lighting level in the space, daylighting conditions should be supplied primarily.It is possible to create ergonomic, dynamic and productive spaces for occupants even if daylighting will be the basic light source. Daylighting has adynamic and variable characteristic based on the atmospheric conditions, seasons, hours in a day, etcIt is possible to explore the relationship of building and daylighting through environmental factors (geographical position) and building factors (site, form, transparency, function). One of the buildings that high daylighting performance expectations occur is certainly school buildings. Naturally lighted classrooms have a certain role on students' success and productivity. The design of classrooms, climate region, orientation, site surroundings, space depth and window size and ratio are the parameters which are effective on daylighting performance. The aim of the paper is exploring the effect of daylighting performance at school buildings in Turkey based on the parameters listed above. The considered variable in this work are; window size, space depth, orientation (south and north) and geographical region (Sinop at the north side of Turkey and Antakya at the south side of Turkey). A classroom box has been prepared based on 36 different scenarios, simulated in inefficient day of the year (21 December) at 12:30 time and analysis results are discussed.
Keywords: Daylighting, schoolbuildings, lightingsimulation

[a] e-posta adresi: micelebi@hotmail.com
[b] e-posta adresi: gharputlugil@karabuk.edu.tr
[c] e-posta adresi: sonur@karabuk.edu.tr

1.GİRİŞ

Günışığı (güneş ve gök ışığı) tarih boyunca binaların tasarımlarını etkileyen bir faktör olarak karşımıza çıkmıştır. Mimari tasarımda doğal aydınlatma hem görsel konfor, hem psikolojik etkileşimler, hem de binanın enerji etkinliği açısından büyük önem taşımaktadır. Mimari tasarım sürecinde gün ışığını etkin kullanabilmek için ise güneşin zamana ve mevsimlere göre sürekli değişkenlik gösteren dinamik yapısını göz önünde bulundurmak gerekir [**1**]. Tasarımda günışığının değerlendirilebilmesini sağlayan önemli parametreler; binanın yönü, çevre binalarla olan ilişkisi, iç mekan yüzeylerinin rengi ve dokusu, pencere boyutları, gölgeleme elemanları ve cam özellikleri olarak sıralanabilir.
Günışığından yüksek oranda yararlanma beklenilen yapılardan biri kuşkusuz okul binalarıdır. Okul binalarında gün ışığı kullanımının öğrencilerin konsantrasyonunu, başarısını, psikolojik ve fizyolojik olarak olumlu etkilediği yapılan çalışmalar sonucunda ortaya konulmuştur. Okul binalarında doğal aydınlatma tasarımının amacı, kullanıcılar için uygun bir görsel çevre yaratmak ve görsel ihtiyaçlarını etkin, konforlu ve minimum enerji tüketerek karşılamalarını sağlamaktır [**2,3**]. Ancak doğal aydınlatma yoluyla görsel konfor ve aydınlatmaya bağlı enerji performansı arttırılırken, rahatsız edici kamaşma ve ısıl konfor düzeyinin bozulması riskinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir.
Bu çalışmada, okul binaları özelinde yapılacak bir değerlendirme ile hedeflenen, doğal aydınlatma performansının farklı bölgelerde, tasarım parametreleri (yönlenme, pencere boyutları, mekan derinliği) bağlamında gösterdiği değişkenliği ortaya çıkarmak ve yorumlamaktır. Konu sadece görsel konfor bağlamında ele alınmış, doğal aydınlatma tasarımının önemli bir sonucu olan ısıl konfor koşullarındaki değişim ve enerji tüketimi üzerindeki etkisi değerlendirme dışı bırakılmıştır.

2. DOĞAL AYDINLATMA PERFORMANSINI ETKİLEYEN PARAMETRELER

2.1. Coğrafi Konum

Günışığının oluşturduğu aydınlığın nicelik ve niteliği, atmosfer özellikleri, saat, gün, yapının yer aldığı enlem, yapının çevresi, iç hacimde kullanılan malzemeler vb. etkenlere göre değişim gösterir [**4**]. Binanın bulunduğu bölgenin enlem ve boylamı güneşin geliş açısını, bölgenin güneş ışığı alma durumunu belirler. Ayrıca mevsimler ve günler de binanın günışığından faydalanma durumunu belirlemektedir.

2.2. Günışığı Faktörü (DF) ve Aydınlık Düzeyi

Gün ışığı faktörü (Daylight Faktor (DF)), "iç mekanda çalışma düzlemi üzerinde istenen noktadaki aydınlık düzeyinin, dışarıda, yatayda herhangi bir engelle gölgelenmeyen bir noktadaki aydınlık düzeyine oranı" olarak tanımlanmaktadır [**5**]. Günışığı Faktörü ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, %1 altında günışığı faktörü oldukça yetersizdir. % 2 ila % 5 oranında Günışığı Faktörü ise iyi seviyede aydınlanma oranını ifade eder. Oranın % 10'un üstüne çıkması ise görsel konforsuzluğu artırmakta ve kamaşma problemleri yaratmaktadır.
Sayısal değerlendirme ve karşılaştırma için kullanılacak bir diğer ölçüt de aydınlık düzeyidir. Bir yüzeyi düzgün olarak aydınlatan ışık akısının bu yüzeyin alanına bölümü yüzeydeki aydınlık düzeyini verir. Birimi lumen/m^2 veya lux'tür. Aydınlatma standartları genellikle çalışma

düzlemindeki aydınlık düzeyini lux değeri cinsinden vermektedir [**6**]. (**Çizelge 1**) Standartlarda belirlenen aydınlık düzeyi değerleri, çalışma düzlemi denilen ve döşemeden genellikle 85 santim yüksekte bulunduğu düşünülen düzlem üzerindeki ortalama değer olarak tanımlıdır [**7**].

Çizelge 1: Farklı işlevler için aydınlık düzeyi değerleri [8]

İŞLEV	AYDINLIK DÜZEYİ(lx)
OFİS	
Yazma Okuma Daktilo	500
Fotokopi alanı	300
Arşiv	200
KÜTÜPHANE	
Raflar	200
Okuma alanları	500
OKULLAR	
Sınıflar	300
Öğretmenler Odası	300
Müzik odası bilgisayar lab.	300
Tahta önü	500
Sanat ve el-işi sınıfları	500
Koridorlar	100

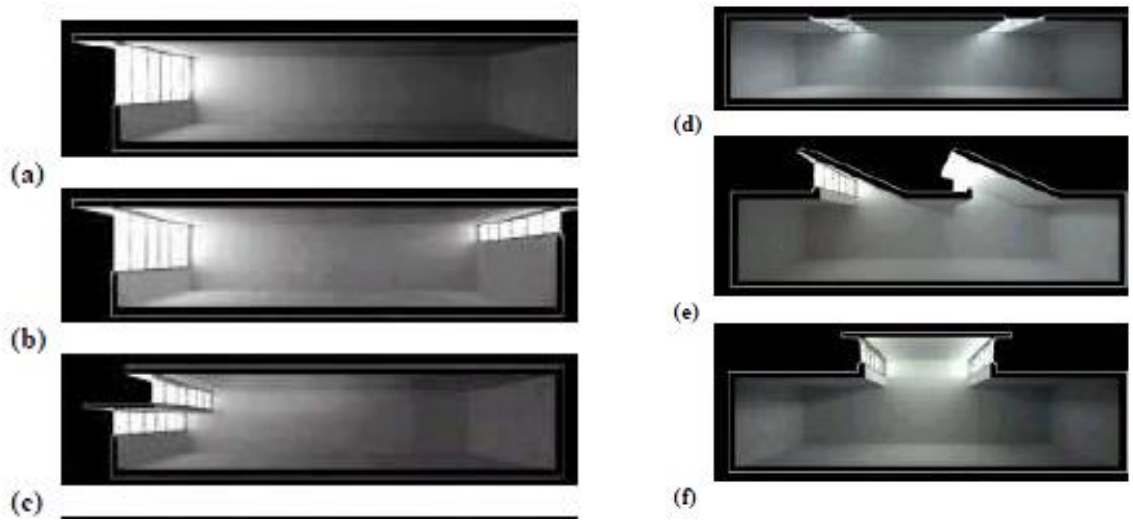
2.3. Dış Çevrenin Tasarımı

Bir mekanın içindeki gün ışığının nitelik ve niceliği, dış çevrede var olan engelleyicilerin genişliği ve uzaklıklarına bağlı olarak azalacaktır. Mekanın içindeki ışığın dağılışı da hacme ulaşan miktara bağlı olarak etkilenecektir. Dolayısı ile hacimlerdeki günışığının yeterliliği öncelikle yerleşim aşamasında ele alınmalıdır [**9**]. Düşey duvar veya pencereye gelen günışığı miktarı "düşey gök bileşeni (*vertical sky component*)" ile tanımlanır. Bu değer tamamıyla engellenmemiş bir düşey duvar için yaklaşık en fazla %40'tır [**10**].

2.4. İç Çevre Tasarımı

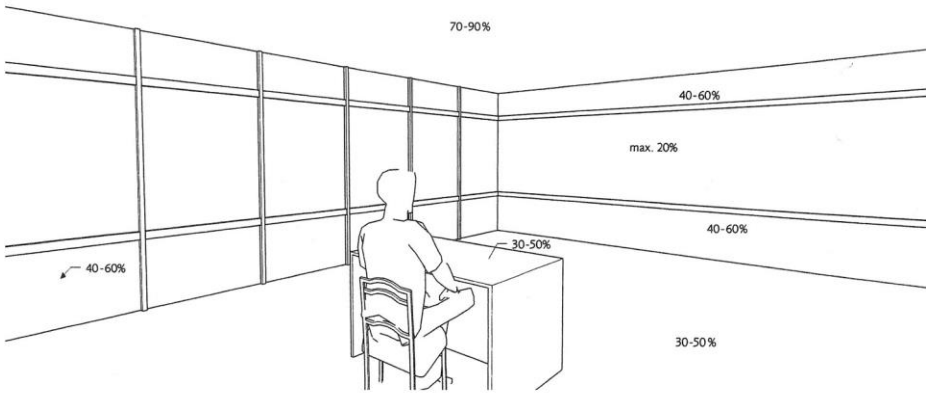
İç hacimde doğal aydınlatma performansını belirleyen parametrelerden bir tanesi pencerelerdir. Pencere boyutları ve bulunduğu yön iç hacimdeki konforu sağlayacak ilk unsurdur. Birçok araştırmacı pencere boyutlarını pencerenin bulunduğu duvarın alanıyla ilişkilendirmiştir. Konutlarda bu oran duvar alanının %8 ile %13, okullarda ise %17 ile %25 arası olarak belirlenmiştir [**11**]. Pencereler mutlaka en az çalışma düzleminin yüksekliğinde olmalıdır. Yatay olarak tasarlanmış pencereler, duvarın tavana yakın kısımlarında konumlandırılmış ise günışığı mümkün olan en uzak noktalara kadar ulaşır. Büyük bir problem olan kamaşma da bu yolla

çözülmüş olur. Işık mekana ne kadar yukarıdan (tepe ışıklıkları gibi) ulaşırsa, o kadar dengeli bir aydınlatma elde edilir [**12, 13**].
Pencere açıklıkları ne kadar geniş ve tavana yakın olursa o kadar aydınlık bir iç ortam oluşturulur. Farklı tipte ve büyüklüklerdeki pencere açıklıklarının iç hacmin aydınlatılmasına olan etkisi **Şekil 1**'de görülmektedir.



Şekil 1. Farklı Pencere Tiplerinin Kullanımının Aydınlık Düzeyine Etkisi [**14**].

Malzeme seçiminde, malzemenin yüzey özellikleri ve renklerinin günışığına verdikleri tepki, bir başka deyişle yutma, yansıtma ve geçirme değerleri iç hacimdeki aydınlık düzeyi doğrudan etkiler.Örneğin hacim içindeki tavanda yüksek yansıtıcılık değerine sahip bir renk ve malzeme kullanıyor ise, çalışma düzlemi ve duvarlarda aynı yansıtıcılık yüzdesine sahip malzeme ve renklerden kaçınmak gerekir. **Şekil 2**'de, belirli standatlar ile bir sınıfın yüzeylerinin olması gereken yansıtıcılık yüzdeleri verilmiştir [**15**].
Son olarak, mekan boyutlarının da doğal aydınlatmada önemli bir etkisi olduğu belirtilmelidir. İşlevine göre değişmekle birlikte, literatürde okul binalarında sınıfların yüksekliğinin 2,5 m ile 3m arasında, derinliğinin ise 4m ile 6 m arasında olması önerilmektedir [**16**].
Bir okul binası tasarlarken doğal aydınlatmanın optimum nicel ve nitel özelliklerinin diğer binalardan farklı olduğu göz önünde bulundurularak, bina yerleşimi en üst seviyede doğal aydınlatmadan binanın faydalanacağı biçimde, yani doğu batı yönünde uzunlamasına yerleştirilmeli, sınıfların olduğu taraf mutlaka yayınık ışık elde edilen kuzey yönünde olmalıdır. Güney yönü ise, her zaman kontrol edilebilir güneş kırıcılar ile desteklenmelidir [**17**].



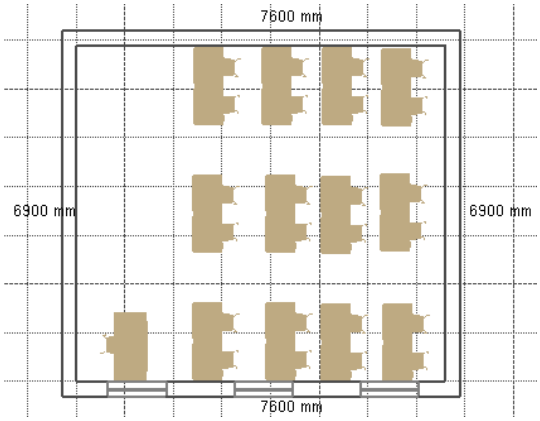
Şekil 2. Sınıftaki yüzeylerin kabul edilebilir yansıtma yüzdeleri [**11**].

3. ÖRNEK ÇALIŞMA

Binaların doğal aydınlatma performanslarını araştırmanın temel amacı iç hacimde konfor koşullarını sağlayacak biçimde yeterli günışığı koşullarını belirlemek ve hem yeni tasarlanacak olan hem de mevcut binalarda bu amaçla yeni çözümler üretmektir. Görsel konfor koşullarının istenilen nitelikte olması, derslik, ofis, laboratuvar gibi farklı işlevlerde ve boyutlardaki mekânların bulunduğu yapılarda, görsel ve ruhsal performansın iyileştirilmesi, öğrenme performansının yüksek tutulması, motivasyonun ve çalışma üretkenliğini arttırması bakımından gereklidir[**18**]. Okul binalarında gerçekleşen temel eylem olan öğrenmenin gün ışığı ile ilişkili olduğu ve gün ışığının öğrencilerin bilgiyi akılda tutmalarında yardımcı bir faktör olduğu bilinmektedir.

3.1. Örnek Mekan Tanımı

Bu çalışmada, Türkiye'de tip ilköğretim okulları projelerinden alınmış bir derslik hacminin, yılın en kısa günü olan 21 Aralık, saat 12:30'da, "kapalı gökyüzü koşullarında (*overcast sky*)" günışığı performansı değerlendirilmiştir.

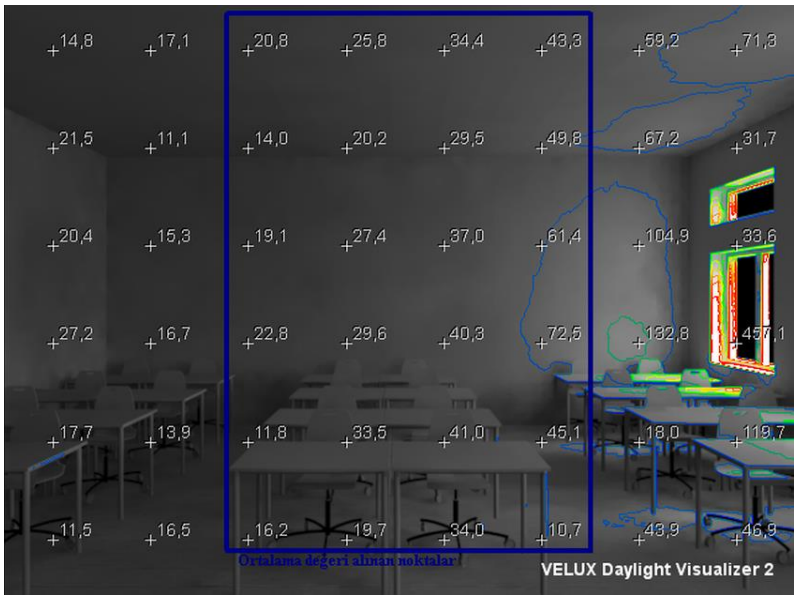


Şekil 3. Tip sınıf planı.

Ele alınan derslik hacminin genişliği 760 cm, derinliği 690 cm, net yükseklik 318 cm'dir (**Şekil 3**). Hacimde uygulanan iç yüzey malzemeleri genel olarak ilköğretim okullarında uygulanmakta olan malzemeler arasından seçilmiştir. Buna göre hacmin iç yüzeyleri;
* Döşeme; % 21 yansıtıcılığa sahip taş kaplama,
* Duvarlar; % 71 yansıtıcılığa sahip bej rengi duvar boyası,
* Tavan; % 84 yansıtıcılığa sahip Beyaz Mat boya ile boyalıdır [**19**].
Okul binalarında, yapı dışı ortamda zemin dokusu genel olarak beton gibi sert malzemeden oluştuğu için zemin ışık yansıtma çarpanı % 20 olarak alınmıştır. Işık yansıtma biçimi ise izotrop yayınık yansıma kabul edilmiştir.
Binanın dışında doğal aydınlatma performansını etkileyecek düzeyde herhangi bir engelin olmadığı varsayılmıştır.

3.2. Bilgisayar Simülasyonuna Dayalı Değerlendirme

Derslik hacminin, doğal aydınlatma performansının değerlendirilebilmesi ve farklı koşullarda oluşacak sonuçların göreli karşılaştırmasının yapılabilmesi için bilgisayar simülasyonundan yararlanılmıştır. Velux Daylight Visualizer 2 [**20**] programı, binalarda günışığının analizi için kullanılan profesyonel bir simülasyon aracıdır. İç mekandaki doğal aydınlık seviyesini hem görsel olarak, hem de aydınlık düzeyi değerleri ile sayısal olarak görebilme ve farklı tasarımların sonuçlarını karşılaştırma olanağı sunmaktadır. CIE tarafından (The Commission International de l'Eclairage -CIE) farklı gök yüzü koşullarındaki ideal ışık dağılımlarının matematik modelleri geliştirmiş ve standartlaştırılmıştır (CIE, 2003). Bu modeller içerisinde en sık kullanılan üçü; açık gökyüzü (*clear sky*), uniform ve kapalı gökyüzü (*overcast sky*) koşullarıdır. Velux Daylight Visualizer 2'da, hesaplama için bu standart çerçevesindeki kabulleri kullanmaktadır [**21**]. Yazılımın algoritması ve geçerliliği ile ilgili ayrıntılı bilgi için Labayrade vd.'nin (2009) yapmış olduğu çalışmaya bakılabilir [**22**].
Bu çalışma kapsamında, Velux Daylight Visualizer 2 kullanılarak dersliğin Türkiye'nin kuzeyi ve güneyindeki 2 farklı coğrafi bölgede; Antakya (36°,20' enlemi, 36_{o},17' boylamı) ve Sinop (42 ^{o}, 03^{l} enlemi, 35°,15^{l} boylamı) [**23**], illerinde iki temel senaryo geliştirilmiştir. Ayrıca her il için pencere yönleri ve yükseklikleri ile sınıf derinliğinin de değiştirildiği, toplam 36 senaryo ortaya konmuş ve ayrı ayrı simüle edilerek sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar her simülasyonda mekan ortasında yer alan 100x100cm.lik grid üzerindeki aydınlık düzeylerinin ortalaması göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir (**Şekil 4**).
Ayrıca hacmin her senaryo bağlamında günışığı faktörü de hesaplanmıştır. Her senaryo için günışığı faktörü değerlerine bakılmış. Değerlendirme için Cahier des Recommendations Techniques de Construction of the French Ministere de l'Education standartlarının derslikler için önerdiği minimum % 1,5'lik günışığı faktörü değeri ile İngiltere'deki okullarda özellikle tek yönden ışık alan derslikler için önerilen %2'lik gün ışığı faktörü değeri göz önünde bulundurulmuştur [**14,24**].



Şekil 4. Değerlendirme için seçilen noktalar

Hacimde bulunan pencerelerin boyutları **Çizelge 2**'de verilmektedir. Mekan derinliği ise **Çizelge 3**'de görüldüğü üzere farklı durumda ele alınmıştır.

Çizelge 2. Varsayılan pencere boyutları

P1	130x130 parapet yük:100 cm (%20,97)	
P2	130x160(h) parapet yük:100 cm (%25,81)	
P3	130 x130 parapet yük:80 cm/130x50 yerden yük:230 cm (%29,04)	

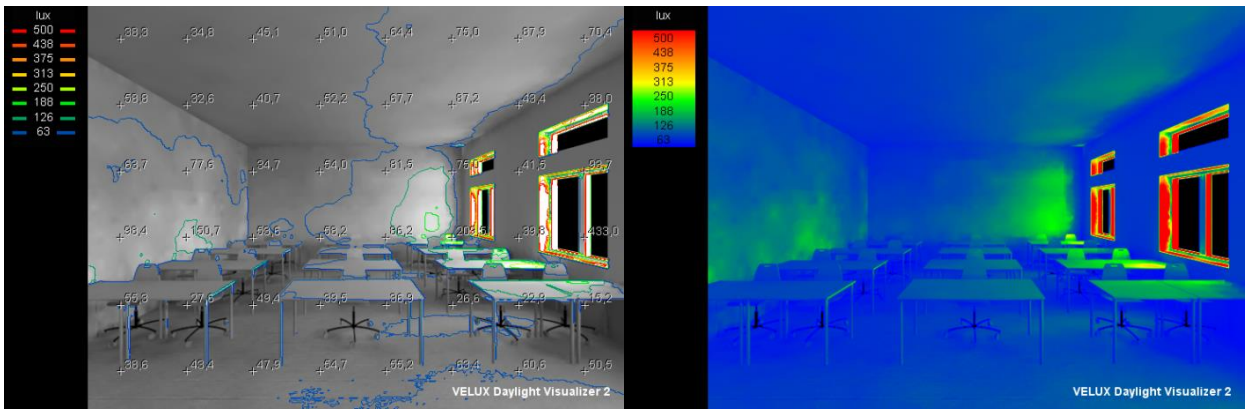
Çizelge 3. Mekan derinlikleri

	DERİNLİK	GENİŞLİK	YÜKSEKLİK
D1	690 cm	760 cm	318 cm
D2	590 cm	760 cm	318 cm
D3	790 cm	760 cm	318 cm

3.3. Analiz Sonuçları

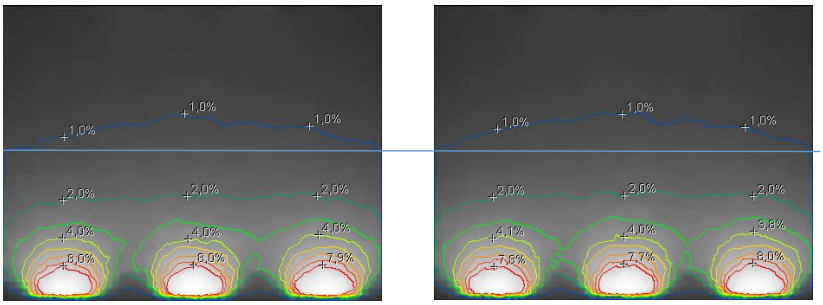
Velux Daylight Visualizer 2 simülasyon programı ile simüle edilen 36 senaryonun 18 tanesi Sinop iline aittir (**Çizelge 4**). Sinop ili için aydınlık düzeyi değerlerine bakıldığında, en iyi sonuç kuzey yönünde yer alan, 130x130 cm. boyutlarında, parapet yüksekliği 80cm ve 130x50 cm. boyutlarında, parapet yüksekliği 230cm. olan P3 penceresi (Duvar/pencere oranı %29,04) ile 590 cm hacim derinliğinin kullanıldığı senaryo-6 ile elde edilmiştir (**Şekil 5**). 21 Aralık saat 12:30 da

kuzey cephedeki 3 tip pencerede ve 3 farklı hacim derinliğinde, güney cephedeki aynı parametrelere sahip hacimlerden daha iyi gün ışığı performansı elde edilmiştir.

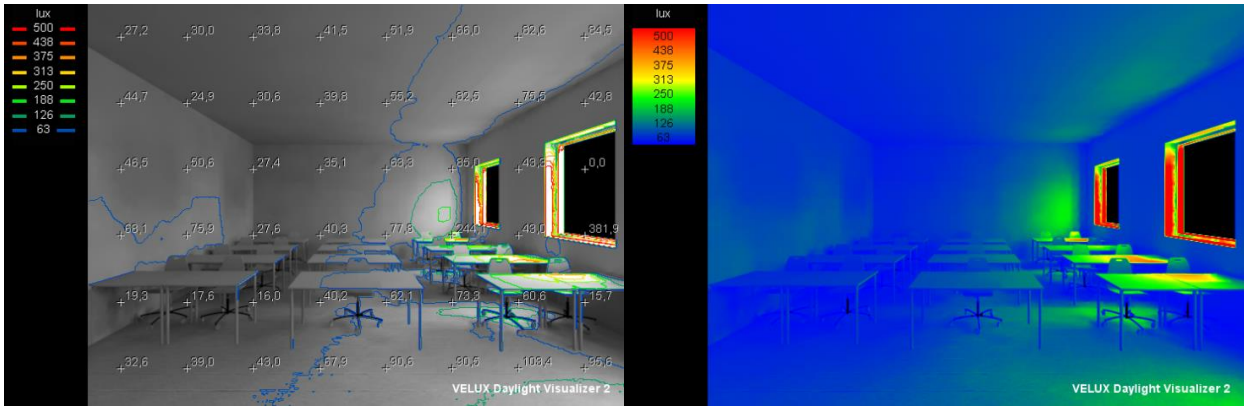


Şekil 5. Sinop ili senaryo-6 simülasyonu sonucu elde edilen değerler.

Sinop ili için gün ışığı faktörü değerlerine bakıldığında, en iyi ve birbirine yakın sonuçlar **Şekil 6**'da verilmektedir. Buna göre, kuzey yönünde yer alan, 130x160 boyutlarında parapet yüksekliği 100 cm olan P2 penceresi (Duvar/pencere oranı %25,81) ile 590 cm hacim derinliğinin kullanıldığı senaryo-5 ile güney yönünde yer alan, 130x160 boyutlarında parapet yüksekliği 100 cm olan P2 penceresi (Duvar/pencere oranı %25,81) ile 590 cm hacim derinliğinin kullanıldığı senaryo-14 en iyi sonucu vermiştir.



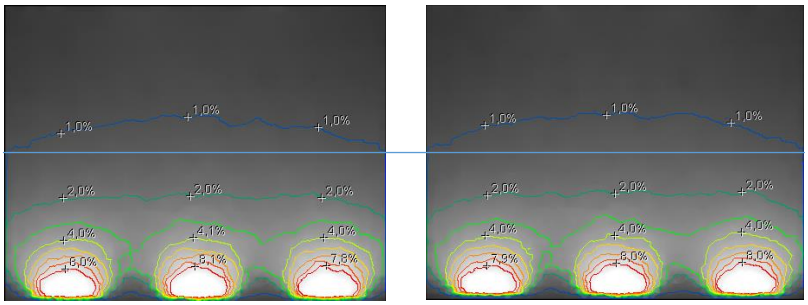
Şekil 6. Sinop ili senaryo-5 ve senaryo-14 gün ışığı faktörü değerleri



. **Şekil 7.** Antakya ili senaryo-14 simülasyonu sonucu elde edilen değerler.

36 senaryonun diğer 18 tanesi Antakya iline aittir (**Çizelge 5**). Sinop için oluşturulan senaryoların tekrar edildiği Antakya'da ise en iyi sonuç, güney yönünde, 130x170 cm boyutlarında, parapet yüksekliği 100cm. olan P2 penceresi (Duvar/pencere oranı %25,81) ile 590 cm hacim derinliğinin kullanıldığı senaryo-14 ile elde edilmiştir (**Şekil 7**). 21 Aralık saat 12:30' da kuzey cephedeki 3 tip pencerede ve 3 farklı hacim derinliğinde, güney cephedeki aynı parametrelere sahip hacimlerle karşılaştırıldığında, Sinop iline ait sonuçlara benzer şekilde kuzey yönü değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Antakya'da kuzey ile güney cephe arasındaki fark, Sinop sonuçlarına göre daha düşük düzeydedir.

Sinop ili için gün ışığı faktörü değerlerine bakıldığında ise, en iyi sonuçlar **Şekil 8**'de görülmektedir. Buna göre, kuzey yönünde yer alan, 130x160 boyutlarında parapet yüksekliği 100 cm olan P2 penceresi (Duvar/pencere oranı %25,81) ile 590 cm hacim derinliğinin kullanıldığı senaryo-5 ile, güney yönünde yer alan, 130x160 boyutlarında parapet yüksekliği 100 cm olan P2 penceresi (Duvar/pencere oranı %25,81) ile 590 cm hacim derinliğinin kullanıldığı senaryo-14 de en iyi sonucu vermektedir.



Şekil 8. Antakya ili senaryo-5 ve senaryo-14 gün ışığı faktörü değerleri

Çizelge 4.Sinop ili değerlendirme sonuçları

SENARYO NO	**PENCERE TİP**	**YÖN**	**HACİM DERİNLİĞİ**	Ortalama aydınlık düzeyi (lux)
SİNOP 1	P1	KUZEY	D1	37,36
SİNOP 2	P2	KUZEY	D1	50,20
SİNOP 3	P3	KUZEY	D1	44,64
SİNOP 4	P1	KUZEY	D2	47,30
SİNOP 5	P2	KUZEY	D2	60,55
SİNOP 6	P3	KUZEY	D2	62,81
SİNOP 7	P1	KUZEY	D3	31,81
SİNOP 8	P2	KUZEY	D3	45,12
SİNOP 9	P3	KUZEY	D3	42,37
SİNOP 10	P1	GÜNEY	D1	27,92
SİNOP 11	P2	GÜNEY	D1	40,12
SİNOP 12	P3	GÜNEY	D1	35,27
SİNOP 13	P1	GÜNEY	D2	35,13
SİNOP 14	P2	GÜNEY	D2	48,10
SİNOP 15	P3	GÜNEY	D2	43,34
SİNOP 16	P1	GÜNEY	D3	31,58
SİNOP 17	P2	GÜNEY	D3	43,00
SİNOP 18	P3	GÜNEY	D3	37,56

Çizelge 5. Antakya ili değerlendirme sonuçları

SENARYO NO	PENCERE TİP	YÖN	HACİM DERİNLİĞİ	Ortalama aydınlık düzeyi (lux)
ANTAKYA 1	P1	KUZEY	D1	37,85
ANTAKYA 2	P2	KUZEY	D1	50,89
ANTAKYA 3	P3	KUZEY	D1	44,14
ANTAKYA 4	P1	KUZEY	D2	45,16
ANTAKYA 5	P2	KUZEY	D2	60,52
ANTAKYA 6	P3	KUZEY	D2	56,75
ANTAKYA 7	P1	KUZEY	D3	32,62
ANTAKYA 8	P2	KUZEY	D3	42,35
ANTAKYA 9	P3	KUZEY	D3	37,13
ANTAKYA 10	P1	GÜNEY	D1	36,44
ANTAKYA 11	P2	GÜNEY	D1	48,55
ANTAKYA 12	P3	GÜNEY	D1	45,12
ANTAKYA 13	P1	GÜNEY	D2	47,01
ANTAKYA 14	P2	GÜNEY	D2	62,10
ANTAKYA 15	P3	GÜNEY	D2	54,31
ANTAKYA 16	P1	GÜNEY	D3	31,38
ANTAKYA 17	P2	GÜNEY	D3	42,54
ANTAKYA 18	P3	GÜNEY	D3	37,37

4. SONUÇLAR

Mekan konforunun önemli bir bileşeni olan görsel konfor koşullarının doğal aydınlatma ile sağlanabilir kılınması, gerek fizyolojik ve psikolojik açıdan insan sağlığının korunmasını, gerekse enerji tüketiminin azaltılmasını sağlaması açısından önemlidir. Bu çalışma ile okul binalarında, yıl içinde güneşin göreli olarak en verimsiz olduğu günde (21 Aralık, saat 12:30) ve kapalı gökyüzü koşullarında doğal aydınlatma performansının bir değerlendirmesi yapılmıştır. Coğrafi konumun yaratacağı farklılığı da gösterebilmek amacı ile, Türkiye'nin iki ayrı bölgesinde yer alan Antakya ve Sinop illeri için çalışma yapılmış ve 36 senaryo oluşturularak simüle edilmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

Bu bağlamda, Sinop ili analizlerine bakıldığında, kuzey yönünde göreli olarak daha iyi performans elde edildiği, pencere/duvar oranının %25 olduğu durumun (P2 penceresi) en iyi sonucu verdiği, mekan derinliğinin artmasına bağlı olarak performansın düştüğü görülür. Antakya ili analiz sonuçlarına bakıldığında ise Sinop'tan farklı olarak kuzey veya güneye dönük pencerelerin bulunduğu hacimlerin doğal aydınlatma performanslarının birbirine çok yakın olduğu görülür.

Tüm senaryolar göz önüne alındığında en düşük mekan derinliği olan D2 (590 cm.) hacim derinliğinin ve pencere/duvar oranı %25 olan P2 penceresinin en iyi performansı sağladığı tespit edilmiştir.

Okul binalarında sınıfların minimum aydınlık düzeyinin 300 lux (**Çizelge 1**), gün ışığı faktör değerinin ise minimum %1,5 olması gerektiği dikkate alındığında; 21Aralık saat 12:30'da tüm senaryolar bağlamında, elde edilen günışığı ile aydınlık düzeyinin (lx) yetersiz olduğu ve gün ışığı faktör minimum değerinin tüm hacimde sağlanamadığı, her iki il için de en iyi performans olarak nitelendirdiğimiz 5. ve 14. Senaryolarda ise ancak hacmin yarısında minimum değere ulaşıldığı tespit edilmiştir. Seçmiş olduğumuz tarih ve saat diliminde coğrafi konumun günışığı

aydınlatma faktörü değerlerinde büyük bir etkisi olmadığı da **Şekil 6** ve **Şekil 8**'de görülmektedir. Bütün senaryolar göz önünde bulundurulduğunda hacimlerin mutlaka yapay aydınlatma ile desteklenmesi gerektiği ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ile, coğrafi bölge farklılıklarının veya pencere boyut ve özelliklerinin doğal aydınlatma performansına etkisi konusunda kesin bir yargıya varmak doğru olmaz. Yürütülmekte olan bir araştırmanın ilk basamağını oluşturan bu çalışmanın bir sonraki aşaması, daha çok parametrenin bir arada değerlendirilmesi ve hassasiyet analizine dayalı optimum sonuçların ortaya çıkartılmasını içerecektir.

KAYNAKLAR

1- F. Canan, **"**Enerji Etkin Tasarımda Parametrelerin Denetlenmesi İçin Bir Model Denemesi", yayımlanmamış doktora tezi, Selçuk Üniversitesi, FBE, Konya, (2008).

2- Z.T. Kazanasmaz, M. Günaydın, S. Binol, "Binalarda günışığı aydınlık değerlerinin öngörülmesi", IX.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 06-09 Mayıs 2009,İzmir, Makine Mühendisleri Odası, (2009), p.p: 811-22.

3- L.E. Kruger, A.L. Dorigo, "Daylightinganalysis in a publicschool in Curitiba, Brazil", RenewableEnergy, (2008), p.p: 1695-1702.

4- R. Ünver,"Günışığının hacim içinde oluşturduğu aydınlığın hesaplanması" Yıldız Üniversitesi Yayını, Cilt yayın no 208, (1990).

5- R. Ünver, "Yapı dışı engellerin hacim içi günışığı aydınlığına etkisi:İstanbul Örneği" Yıldız Teknik Üniversitesi Yayını, Cilt MF.YK-02.0658, (2002).

6-P. Tregenza, D. Loe, "Thedesign of lighting", E&FN Spand, London, (1998).

7- http://www.yfu.com/booklets/mim65-mayis.pdf

8- BIS Standarts,Lightandlighting — Lighting of workplacesPart 1: Indoorworkplaces , BS EN 12464-1:2011

9- C. Kurtay,"İç hacimlerde uygun günışığı için dış çevrenin tasarımı", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.Cilt 17, No 3, (2002), p.p:75-86.

10- Littlefair,P.J.,"Site layout planning for daylight and sunlight. A quide to good practice". Building Research Establishment Report, London,England., (1991).

11- M. Katerina.,"Natural light in learningenvironments", University of NicosiaDepartment of Architecture, Thesis (2012).

12- D. Phillips, "Daylighting: Natural light in architecture", ArchitecturalPress.,England, (2004).

13- N. Lenchner,"Heating, Cooling, Lighting: Design MethodsforArchitects", John WileyandSonsInc.,United States of America, (2001).

14- T. Kazanasmaz, "Binaların doğal aydınlatma performanslarının değerlendirilmesi", V. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, 07-09 Mayıs 2009, İzmir, Elektrik Mühendisleri Odası, (2009), p.p: 25-36.

15- United StatesDepartment of Energy. National Best Practices Manual forBuilding High Performance Schools(2010).

16- A. H. Nagham,"LıghtıngDesıgnInArchıtecture "Daylıght" Ders notları, University of Palestine, College of AppliedEngineering& Urban Planning, Department of Architecture, Interior Design & Planning, (2009).

17- P. Tregenza, Wilson M.,"Daylightingarchitectureandlightingdesign", New York : Routledge, (2011)

18- A.K.Yener,Güvenkaya, R., Şener., F., "İlkokul sınıflarında görsel konfor ve enerji verimi", TTMD Isıtma,Soğutma, Havalandırma, Klima, Yangın ve Sıhhi Tesisat Dergisi, Temmuz- Ağustos, (2009), p.p:30-35.

19-R.K.Güvenkaya, M.Ş.Küçükdoğu, "İlköğretim dersliklerinde aydınlatma enerjisi yönetimindeyönlere göre uygun cephe seçeneklerinin belirlenmesi"itüdergisi/*a* mimarlık, planlama, tasarım, Cilt:8, Sayı:2,(2009) p.p:77-88

20-http://viz.velux.com/daylight_visualizer/about

21- http://www.cie.co.at/ Spatial Distribution of Daylight - CIE Standard General Sky

22-R. Labayrade, H. W. Jensen, C. Jensen, "Validation Of Velux Daylight Visualizer 2 Against Cie 171:2006 Test Cases" Eleventh International IBPSA Conference, July 27-30 2009, Glasgow, Scotland, p.p: 1506-1513

23-http://www.gaisma.com/en/location

24- Boubekri, M. "An overview of the currect state of daylight legislation", Journal of the human-environmental system. Vol.7;No.2, (2004)p.p: 57-63.

MALZEMELERIN MİKRO YAPI ÖZELLİKLERİNİN AKUSTİK PERFORMANSA ETKİSİ: GÖZENEKLİLİK YAPISI İLE SES YUTMA ÖZELLİKLERİ ARASINDAKI İLİŞKİ

Y. Mimar Işın Meriç[a]
Doç. Dr. Ayşe Tavukçoğlu[b]
Prof. Dr. Mehmet Çalışkan[c]
[a,b]ODTÜ Mimarlık Bölümü, [c]ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü
Ankara, 06800

ÖZET

Mekan içi akustik ortamın konfor seviyesinin çeşitli etkinliklere uygun olarak düzenlenebilmesi için yüzey malzemelerinin seçimi önemlidir. Malzemelerin seçiminde en etkin özelliklerinden biri, malzemelerin farklı frekanslardaki ses yutuculuk değerleridir. Bu bildiride, gözeneklilik yapısını tanımlayan özelliklerin ve gözenek yapısına etki eden malzeme bileşenlerinin, ses yutma performansına etkisi, taneli yapıdaki gözenekli malzemeler üzerine yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar üzerinden değerlendirilmiştir. Malzemelerin ses yutma performansının sadece açık gözeneklilik gibi tek bir parametre üzerinden değerlendirilemeyeceği; malzemedeki gözenekliliği tanımlayan açık gözeneklilik, gözenek boyutları, küçük-büyük gözeneklerin ilişkisi, gözeneklerin oluşturduğu kanalların bükümlülüğü gibi birçok özelliğin ses yutuculuğuna farklı oranlarda etki ettiği anlaşılmıştır. Agrega boyutları ve dağılımı, bağlayıcı oranı, lif hacmi gibi malzeme bileşen özellikleri gözenekliliği ve gözenek yapısı doğrudan etkileyen unsurlardır ve son dönemde bu unsurların, taneli yapıdaki malzemelerin ses yutuculuğuna etkilerini inceleyen ayrıntılı çalışmalar yapılmıştır. Malzeme bileşenlerinin, ses yutma performansını nasıl ve ne düzeyde etkilediğini sorgulayan ve bu etkileri ölçebilmek için yöntem geliştiren nitelikli çalışmalardan elde edilen verilerin iyi anlaşılması, ileriye yönelik yenilikçi akustik malzemelerin geliştirilebilmesi için önemlidir.

Anahtar sözcükler: Ses yutma katsayısı, Taneli yapıdaki gözenekli malzemeler, Gözenek yapısı

ABSTRACT

Surface materials having specific sound absorption characteristics can be used to control the acoustical comfort condition within a room. In this paper, the influence of porosity characteristics and compositional properties forming the pore structure on sound absorption performance are discussed through the results of researches particularly conducted on granular porous materials. The joint interpretation of the data in literature exhibited that sound absorption cannot be characterized depending on only one parameter such as open porosity; many other parameters, such as pore size and distribution, relation between large and fine pores and tortuosity, need to be considered for the characterization of sound absorption performance of porous materials. The compositional characteristics, such as aggregate size and distribution, binder and fiber content, are some of the main factors that shape the porosity characteristics of granular materials, therefore, affect their sound absorption performance. In recent time, many researches were observed to concern the impact of raw material characteristics on sound absorption performance of materials. The knowledge gained through these researches need to be used in order to fabricate innovative sound absorbing materials

Key words: Sound absorption coefficient, Granular porous materials, Pore structure

[a] e-posta adresi: isin.meric@gmail.com
[b] e-posta adresi: aysetavukcuoglu@yahoo.com
[c] e-posta adresi: caliskan@metu.edu.tr

1.GİRİŞ

Kapalı mekanlarda akustik konfor koşulları, oda geometrisi ve yüzey bitirme malzemelerinin akustik özellikleri ile yakından ilgilidir. Akustik ortamın istenilen niteliklere sahip olabilmesi için oda geometrisinde bir değişikliğe gidilemediği durumlarda, "malzeme seçimi", özellikle de "malzemelerin ses yutma katsayıları" önem kazanır. Frekanslara göre değişebilen ses yutma katsayıları, malzemenin uygulama detayları ve kalınlıklarına göre çeşitlilik gösterebileceği gibi, malzemenin iç yapısı, diğer bir deyişle gözeneklilik yapısıyla da doğrudan ilgilidir.

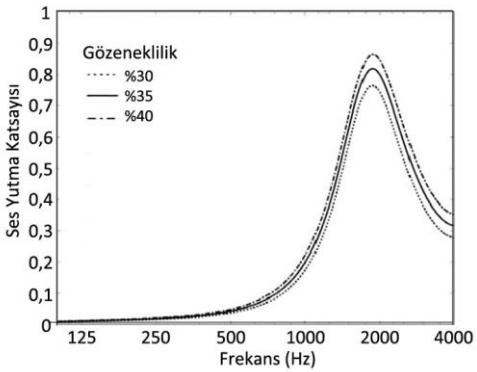
Tüm malzemeler gelen ses dalgasının enerjisini bir miktar sönümleyebilir/yutabilir. Mekan içindeki çınlamanın kontrolü için ses enerjisini büyük oranda sönümleyebilen gözenekli malzemeler ve/veya rezonatörler kullanılmaktadır. Gözenekli malzemelerde gözenekliliğin ses yutuculuğuna olan etkisi çeşitli malzemeler üzerine yapılan pek çok çalışmada incelenmiştir. Gözenekli malzemenin lifli, hücresel ve taneli yapıda olmasına bağlı olarak çalışmalarda incelenen gözeneklilik özellikleri değişmektedir. Bu bildiride taneli yapıdaki gözenekli malzemeler üzerine yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar üzerinden, ses yutuculuğuna etkisi olan gözeneklilik özellikleri değerlendirilip, tartışılmaktadır. Bu çalışmalarda: (a) gözeneklilik yapısını tanımlayan gözeneklilik oranı, gözeneklerin boyutları ve şekilleri, bükümlülük değeri gibi özelliklerin ve (b) gözenek yapısının oluşmasında rol oynayan tane boyutları ve şekli, bağlayıcı oranı, lif içeriği ve oranı gibi malzeme bileşeni özelliklerinin taneli yapıdaki malzemelerin ses yutma performansına etkisi sorgulanmıştır.

Bu kapsamda polimer katkılı gözenekli çimento harcı **[1]**, gözenekliliği arttırılmış beton **[2]**, genleştirilmiş kil tanelerinin çimento ve değişik katkılarla konsolide edilmesiyle oluşturulan harç **[3],** kauçuk tanelerinin poliüretan bağlayıcı ile konsolide edilmesiyle oluşturulan harç **[4]** ve kenevir katkılı beton **[5, 6, 7]** gibi tane yapılı malzemelerin ses yutuculuk niteliklerini ayrıntılı inceleyen araştırmalardan faydalanılmış; gözeneklilik yapısı ve malzeme bileşenlerinin malzemelerin ses yutuculuk özelliğine etkisi değerlendirilmiştir.

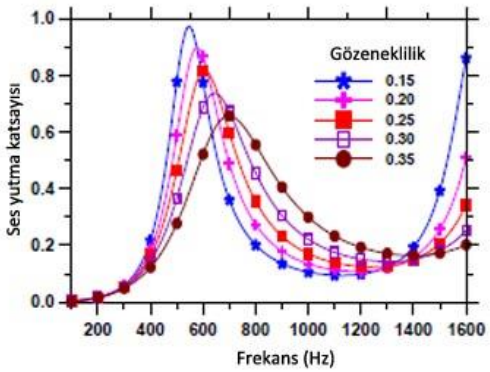
2. GÖZENEKLİLİK YAPISININ SES YUTUCULUK PERFORMANSINA ETKİSİ

Bu bölümde, gözeneklilik oranı, gözeneklerin boyutları ve şekilleri, bükümlülük değeri gibi gözeneklilik yapısını tanımlayan parametrelerin malzemenin ses yutuculuk özelliğine etkilerini inceleyen çalışmalar değerlendirilmiştir.

Ses yutucu olarak kullanılan malzemelerin, ses dalgalarının malzeme içerisine girmesini, yayılmasını, sürtünme yoluyla ses enerjisinin sönümlenmesini sağlayacak bir iç yapıya sahip olması gerekmektedir. Araştırmacılar, malzeme içindeki kapalı gözeneklerin malzemenin ses yutuculuğuna bir etkisi olmadığını ve yutuculukta sadece açık, diğer bir deyişle, birbiri ile bağlantısı olan gözeneklerin dikkate alınması gerektiğini vurgulamıştır **[8, 9]**. Açık gözeneklilik, malzeme dış yüzeyine açık ve birbirleriyle bağlantılı gözenek hacminin, malzemenin toplam hacmine oranı olarak ifade edilmektedir **[10]**. Knapen ve diğerleri, "polimer katkılı gözenekli beton" örnekler üzerine ses yayılım modeli kullanılarak yaptıkları analizlerde, açık gözeneklik arttıkça maksimum ses yutum katsayısı değerinin arttığını gözlemişlerdir **(Şekil 1) [1].**



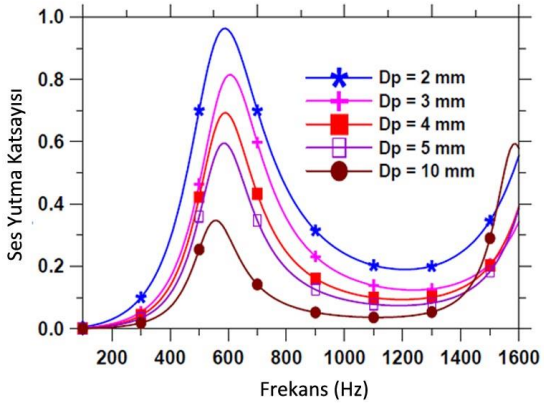
Şekil 1: "Polimer takviyeli gözenekli beton" örneklerinde açık gözeneklilik ile ses yutma katsayısı arasındaki ilişkiyi gösteren grafik [1]



Şekil 2: "Gözenekliliği arttırılmış beton" örneklerinde açık gözeneklilik ile ses yutma katsayısı arasındaki ilişkiyi gösteren grafik [2]

Neithalath, "gözenekliliği arttırılmış beton" üzerine yaptığı çalışmada, açık gözeneklilik ile ses yutum katsayısı arasındaki ilişkiyi daha ayrıntılı bir şekilde incelemiş; gözenekli malzemede ses yayılımını inceleyen bir elektro akustik model kullanarak **[11, 12]**, birbirleriyle bağlantılı büyük ve kılcal gözenek çaplarının ses yutumuna etkisini irdeleyebildiği parametrik bir çalışma yürütmüştür **[2]**. Bu çalışmada gözenek tipleri; "büyük gözenekler (pore)" ve bu büyük gözenekleri birbirine bağlayan "kılcal yapıdaki gözenekler (aperture)" olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Büyük ve kılcal gözenek çapı sabit tutulan, açık gözeneklilikleri ise %15 ile %35 arasında değişen malzeme örneklerinin ses yutum özellikleri, kullanılan ses yayılım modeliyle araştırılmıştır. Açık gözeneklilik arttıkça ses yutma katsayısının maksimum olduğu frekans değeri, yüksek frekanslara doğru kaymış ve bu frekanslardaki maksimum ses yutma değeri düşmüştür **(Şekil 2)**. Ses yutma katsayısının maksimum olduğu frekans dışındaki frekanslarda ise açık gözeneklilik arttıkça ses yutumunun arttığı gözlenmiştir **(Şekil 2)**. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, Knapen ve diğerlerinin **[1]** yaptığı çalışmanın sonuçlarından farklıdır. Gözeneklilik yapısını şekillendiren değişkenlerin kontrol edilebildiği bu tür akustik modelleme çalışmaları **[1, 2]** açık gözeneklilik parametresinin tek başına, malzemenin ses yutum niteliklerinin tayininde belirleyici bir özellik olmadığını, gözenek boyutu ve yapısal karakteristiklerin de malzemenin ses yutuculuğunu etkilediği göstermektedir.

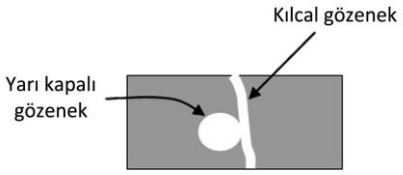
Neithalath'ın aynı çalışmasında, %25 gözenekliliğe sahip 100mm kalınlığındaki "gözenekliliği arttırılmış beton" malzeme örnekleri modellenmiş; açık gözeneklilik ve büyük gözenek çapının kılcal gözenek çapına oranı sabitken, gözenek boyutları değiştirildiğinde ses yutma katsayılarındaki değişimleri, ses yayılım modeli kullanılarak sorgulanmıştır **[2]**. Analizlerin ses yayılım modeliyle yapıldığı bu çalışmada, gözenek çapı arttıkça maksimum ses yutma katsayısının azaldığı, bu katsayının etkin olduğu frekansın ise yaklaşık aynı aralıklarda kaldığı gözlenmiştir **(Şekil 3)**.



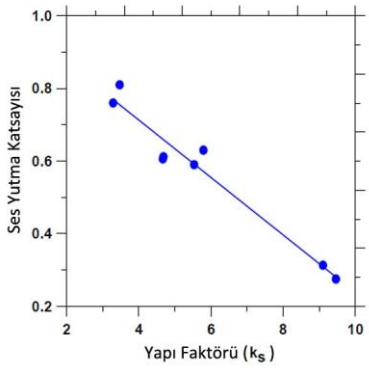
Şekil 3: "Gözenekliliği arttırılmış beton" örneklerinde gözenek çapı ile ses yutma katsayısı arasındaki ilişkiyi gösteren grafik [2]

Gözenek yapısı ile ilgili olan, farklı tipteki gözeneklerin birbirleriyle ilişkisini dikkate alan diğer bir parametre ise literatürde "yapı faktörü (structure factor, k_s)" olarak adlandırılan parametredir **[11]**. Gözenekli malzemelerde açık gözeneklerin oluşturduğu kılcal boşluklara bağlanan görece kapalı yapıdaki kimi gözenekler ses dalgasının kılcal yollar içerisinde oluşturduğu akışta etkin bir rol oynamazlar **(Şekil 4) [2, 11]**. Yapı faktörü, açık gözeneklilik değeri için kullanılan bir düzeltme faktörüdür ve açık gözeneklilik değerinin, malzeme içindeki akışta etkin olan gözeneklerin hacmine bölünmesiyle bulunur. Malzeme içindeki akışta etkin olan gözeneklilik, kaynaklarda "etkili gözeneklilik" veya "akustik gözeneklilik" olarak adlandırılır **[2].**

Karmaşık gözenek yapısındaki malzemelerde yapı faktörünün hesaplanması veya basit deneysel yöntemlerle ölçülmesi zordur **[11].** Diğer yandan, bu parametrenin malzemenin ses yutuculuğuna etkisi, gözenekli malzemelerde ses yayılımını inceleyen modellerde **[11,13,14]** dikkate alınmıştır. Neithalath'ın modele dayalı yaptığı parametrik çalışmasında **[3]**, yapı faktörü arttıkça maksimum ses yutma katsayısı değerinde bir düşüş gözlenmiştir **(Şekil 5)**.

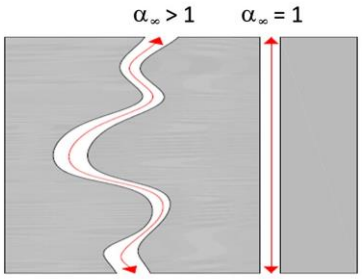


Şekil 4: Ses yayılımında etkin olan açık, kılcal gözenekler ile bunlara bağlanan etkisiz ölü gözenekler [2, 11]

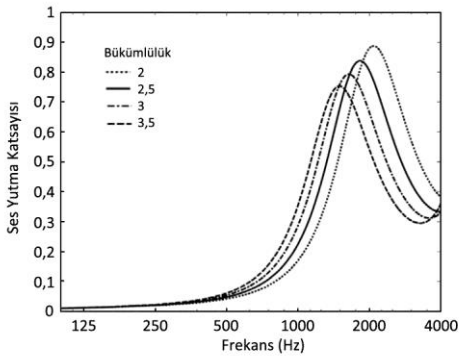


Şekil 5: "Gözenekliliği arttırılmış beton" örneklerinde yapı faktörü ile ses yutma katsayısı arasındaki ilişkiyi gösteren grafik [2]

Gözenek yapısının daha detaylı incelendiği çalışmalarda, gözeneklerin oluşturduğu kanalların malzeme içinde ne kadar kıvrımlı bir yol izlediğini tanımlayan bir özellik olan "bükümlülük (tortuosity)" kavramı ele alınmıştır. Bükümlülük kavramı çeşitli kaynaklarda "yapı şekil faktörü (structural form factor)" olarak da adlandırılmaktadır **[13, 14]**. Bükümlülük, malzeme içindeki birbirine bağlı gözeneklerin oluşturduğu ses yayılım kanallarının uzunluğunun malzemenin kalınlığına oranlanmasıyla bulunur **[1]**. **Şekil 6**'da bükümlülük özelliğinin bir betimlemesi verilmiştir. Şekilde geçen "α_∞ simgesi bükümlülüğü ifade etmekte olup, malzemede ki ses yayılım kanalı, malzeme kalınlığına eşit olduğu durumda bükümlülük "1"e eşittir; bükümlülük arttıkça, bükümlülük değeri 1'in üzerine çıkmaktadır. Taneli yapıdaki gözenekli pek çok malzemede bu değer "1" in üzerindedir **[9]**.



Şekil 6: Malzeme bükümlülük özelliğinin gösterimi



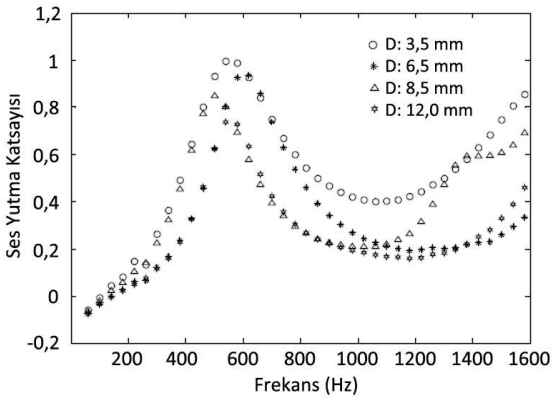
Şekil 7: "Polimer katkılı gözenekli beton" örneklerinde bükümlülük değeri ile ses yutma katsayısı arasındaki ilişkiyi gösteren grafik [4]

Bükümlülük, özellikle gözenekli bir malzemenin yüksek frekanslardaki ses yutuculuğunu etkileyen bir özelliktir **[9**]. Knapen ve diğerleri "polimer katkılı gözenekli çimento harçları" üzerine yaptıkları çalışmada, bükümlülük değeri ile ses yutma değeri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir **(Şekil 7) [1].** Bu çalışmada, bükümlülük değeri azalan örneklerde, maksimum ses yutma katsayısı değerinin arttığı ve bu maksimum değerin gözlendiği frekansın da daha yüksek frekanslara doğru ötelendiği belirtilmektedir. Diğer yandan, Cox ve D'Antonio, ses yayılım kanallarının karmaşıklığı arttıkça, malzeme içinde ses yutumunun da artacağını ifade etmektedirler **[8]**. Knapen ve diğerlerinin **[1]** çalışmasında sunulan sonuç ile Cox ve Antonio'nun **[8]** açıklaması çelişmektedir. Bu ilişkiyi daha iyi tanımlalamak için ayrıntılı çalışmalara ihtiyaç olduğu ve bir malzemenin ses yutma performansının sadece bükümlülük değerine bağlanamayacağı düşünülmektedir.

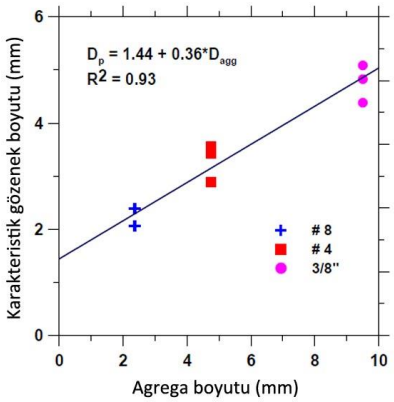
3. MALZEME BİLEŞENLERİNİN SES YUTUCULUK PERFORMANSINA ETKİSİ

Bu bölümde; sıva, harç, beton gibi malzemelerin gözeneklilik yapısına etki eden tane boyutu, bağlayıcı oranı ve lif oranı gibi bileşim özellikleriyle ses yutma özellikleri arasındaki ilişkiyi araştıran çalışmalar irdelenmiştir.

Malzemenin gözeneklilik yapısını ve dolayısıyla ses yutma performansını etkileyen önemli unsurlardan biri agrega boyutları ve dağılımıdır. Vasina ve diğerleri **[3]**, portland çimentosu, uçucu kül, akışkanlaştırıcı katkı maddesi ile konsolide edilmiş ve 3,5 mm-12 mm arasında boyutlara sahip "genleştirilmiş kil taneleri" kullanılarak üretilen malzeme örneklerinin ses yutma performanslarını deneysel analizlerle incelemişlerdir. Karakteristik çapı 3,5 mm olan tanelerle hazırlanan örneklerin, maksimum ses yutma katsayısı değerinin en yüksek olduğu görülmüştür **(Şekil 8)**. Karakteristik tane çapı arttıkça, ses yutma değeri azalmaktadır.



Şekil 8: "Konsolide edilmiş genleştirilmiş kil taneleri" ile hazırlanan malzeme örneklerinde agrega boyutları ile ses yutma katsayısı arasındaki ilişki [3]

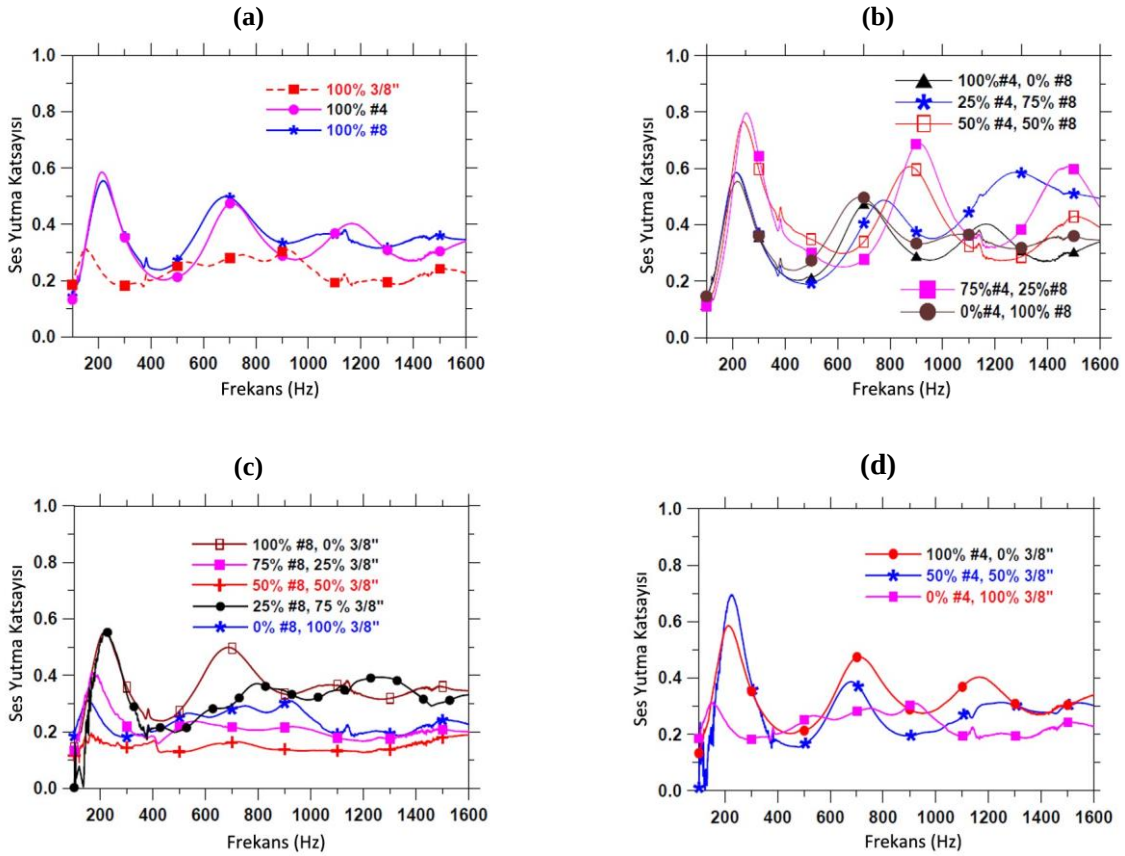


Şekil 9: "Gözenekliliği arttırılmış beton" örneklerinde agrega boyutları ile karakteristik gözenek boyutları arasındaki ilişki [2]

Neithalath da **[2]**, Vasina ve diğerlerinin yaptığı çalışmaya **[3]** benzer bir yaklaşımla, agrega boyutu ile ses yutumu arasındaki ilişkiyi deneysel çalışmalarla incelemiş; eleklerden geçirilip belli boyutlara göre gruplandırılan agregalar ile hazırlanan "gözenekliliği arttırılmış beton" örneklerin ses yutma katsayılarını ölçmüştür. Bu ölçümlere göre, #3/8 kodlu elekte kalan agregalar (tane boyutu 9,5 - 12,5mm arası) ile hazırlanmış malzeme örneği, diğer daha ufak tanelerin ayrıldığı #4 (tane boyutu 4,75 - 9,5mm arası) veya #8 (tane boyutu 2,36 - 4,75mm arası) kodlu eleklerde kalan agregalar ile hazırlanan malzemelerden daha düşük ses yutma performansına sahiptir **(Şekil 10a)**. Kısacası, tek elekten geçen agregalarla hazırlanan beton örneklerde, agrega boyutu arttıkça, ses yutma değerinin azaldığı görülmüştür. Bu sonuç, Vasina'nın **[3]** elde ettiği verilerle uyumludur. Neithalath, farklı agrega boyutlarının beton malzemedeki karakteristik gözenek çapına etkisini de araştırmış; karışımdaki agrega boyutu arttıkça karakteristik gözenek boyutlarının arttığını belirlemiştir **(Şekil 9) [2].** Sonuç olarak, büyük ebatlardaki agregaların kullanımıyla gözenek boyutlarındaki artışın ses yutumunu azaltabileceğine değinmiş **(Bkz. Şekil 3)**; açık gözeneklilik değerindeki artışın her koşulda malzemenin ses yutuculuğunu arttırmayabileceğinin, gözenek boyutlarının da ses yutuculuğunu etkileyen belirleyici bir özellik olduğunun altını çizmiştir. Bu kapsamda yapılan deneysel analizlerden elde edilen bu veriler **[3]** ile akustik modelleme analizlerinden ile elde edilen veriler **[1, 2]** birbirlerini destekler niteliktedir.

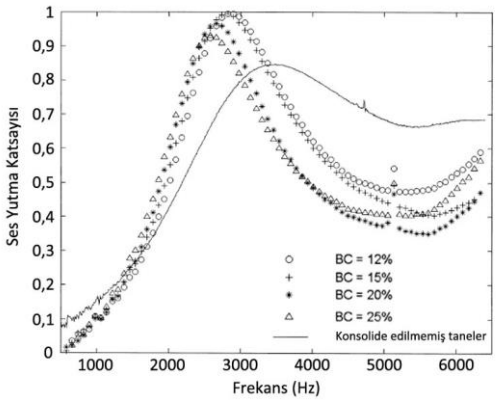
Neithalath, aynı zamanda, birden fazla agrega grubunu karıştırarak elde ettiği farklı agrega karışımlarının/dağılımlarının malzemenin ses yutuculuğuna olan etkisini araştırmıştır **[2].** Burada, #3/8 ve #4 kodlu eleklerde kalan agregaları karıştırarak hazırlanan malzeme örneklerinin ses

yutma katsayısı değerleriyle **(Şekil 10d),** #3/8 ve #8 kodlu eleklerde kalan agregaları karıştırarak hazırlanan malzemelerin ses yutma katsayısı değerleri **(Şekil 10c)** incelenmiş; bu karışımlardaki büyük tanelerin ses yutumuna önemli derecede katkı yapmadığı belirlenmiştir. Diğer yandan, #4 kodlu ve #8 kodlu eleklerde kalan agregaların belli oranlarda karıştırılmasıyla, yani daha ufak taneli karışımlardan hazırlanan malzemelerin ses yutma değerlerinde dikkate değer bir yükselme gözlemlenmiştir **(Şekil 10b)**.

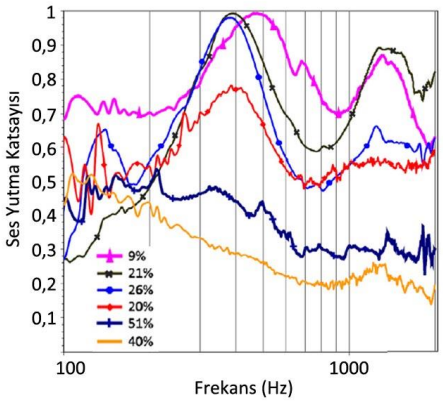


Şekil 10: "Gözenekliliği arttırılmış beton" malzeme örneklerinin ses yutma katsayısı ile agrega boyutları ve dağılımları arasındaki ilişki [2] (a) Tek elekten geçen agrega grubuyla hazırlanan malzemeler: #3/8, #4 ve #8 kodlu agrega gruplarının karşılaştırılması; (b) #4 ve #8 kodlu eleklerden geçen ve farklı oranlarda karılan, (c) #8 ve #3/8 kodlu eleklerden geçen ve farklı oranlarda karılan, (d) #4 ve #3/8 eleklerden geçen ve farklı oranlarda karılan agrega karışımlarıyla hazırlanan beton örneklerin karşılaştırılması

Taneli yapıdaki gözenekli malzemelerde kullanılan bağlayıcı miktarı, malzemenin gözeneklilik yapısını doğrudan etkileyen bir başka etmendir. Burada, kireç ve polimer esaslı bağlayıcıların kullanıldığı farklı harç malzemelerin ses yutuculuk performanslarını inceleyen çalışmalar değerlendirilmiştir. Horoshenkov & Swift **[4]**, çeşitli boyutlardaki kauçuk taneler ile poliüretan bağlayıcı maddenin basınç altında sıkıştırılmasıyla hazırladıkları malzeme örneklerinde bağlayıcı madde oranının, ses yutuculuğuna olan etkisini sorgulamışlardır. Malzeme içerisindeki bağlayıcı miktarı arttıkça, ses yutma değerlerinin azaldığı belirtilmiştir **(Şekil 11)**.



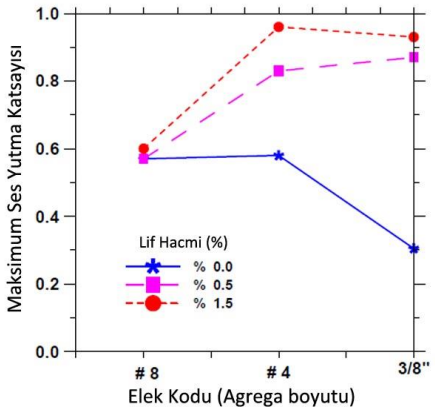
Şekil 11: "Kauçuk tanelerinin poliüretan bağlayıcı ile konsolide edilmesiyle oluşturulan malzeme" örneklerinde bağlayıcı miktarı ile ses yutma katsayısı arasındaki ilişki [4]



Şekil 12: Kenevir kıymığı katkılı beton örneklerde bağlayıcı oranı ile ses yutma katsayıları arasındaki ilişki [5]

Kireç bağlayıcının kullanıldığı kenevir kıymığı katkılı beton üzerine yapılan çalışmada da, bağlayıcı oranı arttıkça malzemenin ses yutuculuk performansının azaldığı gözlenmiştir **[5, 6, 7]**. Bu ilişki, bağlayıcı malzemesi farklı olmasına karşın, Horoshenkov & Swift'in **[4]** kauçuk taneli harç malzemesi için elde edilen verileri destekler niteliktedir. Ancak, bağlayıcı malzemenin çeşidi, miktarı ve niteliklerinin, malzemenin gözenek yapısına ve ses yutma performansına etkilerini iyi anlamak için kapsamlı deneysel çalışmalara ihtiyaç vardır.

Malzemeye katılan lifler de malzemenin ses yutma performansını etkileyebilecek şekilde gözeneklilik yapısına etki edebilmektedir. Neithalath yaptığı çalışmada **[2]**, değişik boyutlardaki eleklerden geçirilerek gruplanan agregalar ve çimento bağlayıcı ile hazırladıkları gözenekliliği yüksek beton karışımlara 1-2mm kalınlığında, 50mm uzunluğunda polipropilen lifleri katarak, liflerin malzemenin ses yutuculuğuna etkisini incelemiştir **(Şekil 13)**. #8 kodlu elekten geçen agrega ile hazırlanan ve gözenek boyutu 2-2,5 mm arasında değişen örneklerde, lif hacmindeki artışın, maksimum ses yutma katsayısı değerini değiştirmediği görülmüştür. #4 kodlu elekten geçen agrega ile hazırlanan ve gözenek boyutu 2,5-3,5 mm arasında değişen örneklerde, içine katılan lif hacmi arttıkça malzemenin maksimum ses yutma katsayısının belirgin düzeyde arttığı gözlenmiştir. Lif hacmindeki artışın ses yutuculuk değerine en çok etki ettiği örnekler ise #3/8 kodlu elekten geçen agrega ile hazırlanan ve gözenek boyutu ve 4,4-5,2 mm arasında değişen örneklerdir. Sonuç olarak, lif katılmamış örneklerin ses yutuculuk katsayısı ile karşılaştırıldığında, gözenek boyutunun lif boyutuna yakın olduğu örneklerde lif hacmindeki artışın maksimum ses yutuculuk değerini değiştirmediği; gözenek boyutlarının lif boyutlarından büyük olduğu örneklerde ise lif hacmindeki artışın maksimum ses yutuculuk değerini önemli ölçüde yükselttiği anlaşılmaktadır **[2]**.



Şekil 13: "Gözenekliliği arttırılmış beton" örneklerinde lif hacmindeki artış ile maksimum ses yutma katsayısı değeri arasındaki ilişki [2]

5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Son dönemlerde malzemelerinin akustik niteliklerini mikro yapı ölçeğinde irdeleyen araştırmaların malzeme teknolojisi ve akustik bilimine önemli katkıları vardır. Bu sahalarda ilerleyen araştırmalar sayesinde; gözenek yapısı dikkate alınarak nitelikli ses yutucu malzemelerin geliştirilmesi, tasarım ve üretim aşamalarında yeni malzemelerin akustik yeterliklerinin sınanması ve istenilen gözeneklilik ve akustik özelliklere katkıda bulunan hammadde özelliklerinin iyi anlaşılması mümkün olmaktadır. Bu bildiri ile gözenekli malzemelerin mikro yapı özelliklerinin malzemenin ses yutuculuğuna olan etkisini inceleyen çalışmalardan edinilen birikim değerlendirilmiştir. Yapılan çalışma ile elde edilen sonuçlar aşağıdaki maddeler ile özetlenebilir:

(a) Genel bir kanı olarak dile getirilen "açık gözeneklilik arttıkça malzemenin ses yutuculuk değerinin artacağı" görüşü tartışılmış; açık gözenekliliğin tek başına ses yutumunu etkilemediği, gözenek boyutu ve dağılımının da malzeme içerisindeki sesin yayılımını belirgin düzeyde etki ettiği, hatta açık gözeneklilik azaldığı durumda dahi gözenek çapı ve küçük-büyük gözenek ilişkisinin ses yutumunu arttırabilen öğeler olduğu belirtilmiştir.

(b) Tane boyu ve dağılımının, malzemenin gözenek yapısının oluşmasında önemli rol oynadığı; ve bu sebeple malzemenin ses yutum karakteristiğini etkileyen önemli bir unsur olduğu vurgulanmıştır. Agrega dağılımlarında küçük tane boyutlarının varlığının ses yutumunu artırıcı yönde katkı sağladığı gözlemlenmiştir. Taneli yapıdaki malzemelerde lif katkısının ses yutuculuk katsayısını etkilediği; karakteristik gözenek boyutu ile lif çaplarının bu katsayıyı etkileyen parametreler olduğu belirtilmiştir. Bağlayıcının, malzemenin ses yutuculuk performansına etkisi, bağlayıcı cinsi ve miktarı ile malzemenin gözenek yapısı, performansı ve ses yutuculuk karakteristikleri arasındaki ilişkileri inceleyen kapsamlı deneysel çalışmaların yapılmasını gerektirmektedir.

(c) Gözenek yapısını tanımlayan parametrelerden biri olan "bükümlülük" değerinin ses yutma katsayısı ile ilişkisinin daha iyi tanımlanabilmesi için kapsamlı çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Yapılan çalışmalardan elde edilen verilerin mimarlar, mühendisler, üreticiler ve ilgili diğer disiplinler tarafından yakından takibi; yeni ve nitelikli malzemelerin geliştirilmesi, ülkemizde yapılacak araştırmaların yönlendirilebilmesi ve yapılarda etkin yapı malzemeleri kullanılarak mimari program ile uyumlu akustik ortamların oluşturulabilmesi için gereklidir.

KAYNAKLAR

1. E. Knapen, R. Lanoye, G. Vermeir, W. Lauriks, & D. Van Gemert, "Acoustic properties of sound absorbing, polymer-modified porous cement mortars," in *Proc. the 6. International Conference on Material Science and Restoration*. (2003).

2. N. Neithalath, "Development and characterization of acoustically efficient cementitious materials," PhD dissertation, Purdue University, Indiana, (2004).

3. M. Vasina, D. C. Hughes, K. V. Horoshenkov, & L. Lapcik Jr., "The acoustical properties of consolidated expanded clay granulates". *Applied Acoustics*, 67, (2006), pp: 787-796.

4. K. V. Horoshenkov, M. J. Swift, "The effect of consolidation on the acoustic properties of loose granulates", *Applied. Acoustics*. 62, pp:665–690 (2001).

5. P. Gle, E. Gourdon, and L. Arnaud, "Acoustical properties of materials made of vegetable particles with several scales of porosity," *Applied. Acoustics*. 72, (2011), pp:249–259.

6. L Arnaud & V. Cerezo, "Qualification physique des matériaux de construction à base de chanvre – Rapport final – Programme de juin 1998 à août 2001", Rep. CNRS 071462; (2001), pp:659–78,

7. V. Cerezo, "Propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques d'un matériau a base de particules végétales: approche expérimentale et modélisation théorique," Ph.D. dissertation , Ecole doctorale MEGA, Lyon, (2005).

8. T. J. Cox & P. D'Antonio. Chap. 5 in *Acoustic Absorbers and Diffusers: Theory Design and Application*. London: Taylor and Francis, (2009).

9. H. S. Seddeq, Factors influencing acoustic performance of sound absorptive materials. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(4), (2009), pp: 4610-4617.

10. E. Knapen, R. Lanoye, G. Vermeir, W. Lauriks, & D. Van Gemert, "Sound absorption by polymer-modified porous cement mortars," in Proc. 11th Congress on Polymers in Concrete. Berlin, Germany, (2004).

11. C. Zwikker & C. W. Kosten, *Sound Absorbing Materials*, Elsevier Publishing Company: Newyork, (1949).

12. T. J. Lu, F. Chen & D. He, "Sound absorption of cellular metals with semi-open cells," *JASA*, 108(4), (2000), pp:1697-1709

13. M. A. Biot, "Theory of propagation of elastic waves in a fluid saturated porous solid. I. Low frequency range," *JASA*, 28(2), (1956), pp:168-178.

14. M. A. Biot, "Theory of propagation of elastic waves in a fluid saturated porous solid. II. Higher frequency range," *JASA*, 28(2), (1956), pp:179-191.

ISI VE NEM KONTROLÜ YAPILMIŞ ÇİFT TUĞLA DUVARLARIN SES YALITIM DEĞERLERİNİN LABORATUVARDA ÖLÇÜLMESİ VE İRDELENMESİ

Prof. Dr. Sevtap Yılmaz[a]
Araş. Gör. Mine Aşcıgil Dincer[b]
Y. Doç. Dr. Gülten Manioğlu[c]
Prof. Dr. Leyla Tanacan[d]
İTÜ Mimarlık Fakültesi
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

ÖZET

Yapı kabuğunun, iç ve dış ortam koşullarını ayırarak fiziksel çevre etkenlerini kontrol altına alması beklenmektedir. Yapı içerisinde iklimsel, görsel ve işitsel konforun sağlanması yapı dış kabuğu performansı ile doğrudan ilişkilidir. Çalışmada, "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi (ÇGDY) Yönetmeliği" (2002/49/EC), "Yapı Malzemeleri Yönetmeliği" (89/106/EEC), "Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları Standardı" (TS 825) ve etkili olan yapı fiziği parametreleri göz önüne alınarak geliştirilen çift tuğla dış duvar yapı elemanları için ses azalma indisi değerleri, ısı geçirme katsayısı, nem kontrolü ve yapı malzemesi konuları incelenmiştir. Farklı kalınlıklardaki yatay delikli tuğla duvarlar, aralarında farklı derinliklerde hava boşlukları bırakılarak ve hava boşluklarında da farklı kalınlıklarda taşyünü kullanılarak oluşturulan çeşitli dış çift duvar kombinasyonları için teorik çalışmalar ve laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Hava doğuşlu ses azalma indisi değerleri İTÜ Mimarlık Fakültesi Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Laboratuvarı Akustik Ünitesi Test Odalarında B&K Pulse akustik analiz platformu kullanılarak ölçülmüştür. Çalışma, İTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri birimi tarafından desteklenen "Farklı Gürültü Bölgelerindeki Konutlar için Dış Duvar Yapı Elemanı Ses Yalıtım Değerleri Veritabanı Geliştirilmesi: Ses, Isı, Nem Kontrolü ve Yapı Malzemesi" projesinin bir parçasıdır.

Anahtar sözcükler: Ses yalıtımı, Isı yalıtımı, Nem kontrolü, Tuğla

ABSTRACT

Building envelope is expected to control physical environmental conditions by separating interior environment from exterior. Providing climatic, visual and aural comfort conditions of indoor spaces is directly related to building envelope performance. In this study, exterior double brick wall types developed regarding "Evaluation and Management of Environmental Noise Directive" (2002/49/EC), "Building Materials Directive" (305/2011/AB), "Rules of Heat Insulation in Building" (TSE 825) and effective building physics parameters, have been examined for sound reduction index, thermal resistance and moisture control. Theoretic and laboratory work have been made for brick exterior double walls with varying brick, mineral wool and air thicknesses. Airborne sound reduction index values have been measured at the Istanbul Technical University Building Physics and Environmental Control Laboratory Acoustical Unit Test Rooms, using B&K Pulse acoustical analysis platform. This study is a part of a research project funded by I.T.U. Research Fund, called "Improvement of Wall Sound Insulation Value Database for Different Noise Zones in Turkey: Sound Insulation, Thermal Insulation, Moisture Control, and Building Material".

Keywords: Sound insulation, Thermal insulation, Moisture Control, Brick

[a] e-posta adresi: demirkale@itu.edu.tr
[b] e-posta adresi: mineascigil@gmail.com
[c] e-posta adresi: manioglugu@itu.edu.tr
[d] e-posta adresi: tanacan@itu.edu.tr

1. GİRİŞ

İTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri birimi tarafından desteklenen ve bu çalışmanın da bir parçası olduğu araştırmanın amacı, çeşitli yapı malzemelerinin bir araya getirilmesi ile ortaya çıkan ve İstanbul'da gerekli ısı geçirme katsayısını ve nem sorununun çözümünü sağlayan farklı dış duvar yapı elemanı tipleri için oluşturulan alternatiflerin hava doğuşlu ses azalma indisi değerlerini laboratuvarda ölçmek ve yorumlamaktır. Önerilen araştırmada, ülkemizde sanayi ile birlikte çalışmak suretiyle Türkiye'de piyasada sıklıkla kullanılmakta olan tuğla yapı malzemesi esas malzeme olarak seçilerek, alçı levha ve ses yutucu malzeme olarak da taşyünü kullanılarak oluşturulan duvar yapı elemanları ısı, nem ve ses açısından tasarlanmış, ses azalması ile ilgili değerleri laboratuvarda ölçülmüş, değerlendirilmiş ve ses azalma indisi açısından en uygun duvar yapı elemanının en doğru şekilde tasarlanması için gerekli değerler ortaya konulmuştur. Bu çalışmada araştırmanın bir parçası olan opak dış cephede 8,5 cm ve 13,5 cm kalınlığında tuğlaların oluşturduğu çift duvarların sağladığı ısı yalıtımları, nem kontrolleri ve ses yalıtımları incelenmektedir.

Türkiye'de yakın zamanda Avrupa Birliği'ne tam üyelik sürecinde yürürlüğe konulan, 2002/49/EC "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği" [**1**] ve 89/106/EEC numaralı "Yapı Malzemesi Yönetmeliği" [**2**] ile "Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları Standardı"nın (TS 825) [**3**] ile ilgili ölçütlerin sağlanması esastır. Önerilen araştırmanın temelini oluşturan bu mevzuatın ilgili maddeleri aşağıda sırasıyla özetlenmektedir.

T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından yayınlanan "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği"nin (2002/49/EC) [**1**] 28. Maddesi'ne göre, yeni inşa edilecek yapıların mimari projelerinde, yapı tiplerine bağlı olarak bu Yönetmeliğin ekindeki Ek-VIII'de yer alan Tablo-9'da verilen iç mekân gürültü düzeyi L_{eq} dBA sınır değerlerinin sağlanması zorunludur. Yönetmeliğin Ek 2, Bölüm 4'ünde ise, bu tabloda belirtilen gürültüye hassas yapıların inşaat izni ve yapı kullanım izni safhasında "a) yapılar için getirilen iç ortam gürültü seviyesi sınır değerini sağlayacak şekilde mekanları çeviren yapı elemanlarında (duvar, döşeme, tavan, merdiven evi ve diğer) uygulanacak ses azaltım oranının hesaplanmasında TSEN 12354 serisi standartları çerçevesinde değerlendirme" yapılabileceği; "b) belirlenen yalıtımın uygulanıp uygulanmadığı konusunda TS EN ISO 10140 standart serisinden" faydalanılabileceği, "ç) hesap ve ölçüm sonuçlarının, 1/3 oktav bantlarda ses azalma indisi değerleri (dB biriminde) ve ISO 717'ye göre R_w değerinin verilmesi" gerektiği belirtilmiştir.

Yapı Malzemeleri Yönetmeliği (305/2011/AB), [**2**] yapı malzemelerinin temel karakteristikleri ile ilgili performans beyanlarının ve malzemelere CE işaretinin iliştirilmesinin kurallarını oluşturarak yapı malzemelerinin piyasaya arz edilmesi ve piyasada bulundurulması ile ilgili usul ve esasları belirlemektedir. Enerjiden tasarruf ve ısı muhafazası ile gürültüye karşı koruma, yönetmelik Ek 1'de verilen yapı işleri için temel gereklerdendir. Yapı işleri ile bu işlerde kullanılan ısıtma, soğutma ve havalandırma tesisatları, yerel iklim koşulları ve ikamet edenlerin durumlarını dikkate alarak az bir enerji kullanımı gerektirecek şekilde tasarlanıp, yapılmalıdır. Ayrıca, yapı işleri, gürültünün binada bulunanların ve çevresindeki insanların sağlığını tehdit etmeyecek, onların yeterli koşullarda uyuma, dinlenme ve çalışmalarına izin verecek şekilde tasarlanıp, yapılmalıdır. Ek 5'te ise gürültüye karşı performansın laboratuvar testine tabi tutularak belirlenmesi gerektiği belirtilmiştir.

TSE 825 Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları standardı [**3**], binalarda ısıtma enerjisi ihtiyaçlarını hesaplama kurallarını ve binalarda izin verilebilir en yüksek ısıtma enerjisi değerlerini içermektedir. TSE 825 standardının amacı, ülkemizdeki binaların ısıtılmasında kullanılan enerji miktarlarını sınırlamayı, dolayısıyla enerji tasarrufunu arttırmayı ve enerji ihtiyacının hesaplanması sırasında kullanılacak standart hesap metodunu ve değerlerini belirlemektir. Bu hesaplama metodu yardımıyla binanın enerji ihtiyacının bu standartta verilen sınır değerlerin

altında kalmasını sağlayacak şekilde malzeme seçimi, eleman boyutlandırılması ve ayrıntılı çözümlerinin belirtilmesi gerekmektedir. Standartta hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi değerleri, malzeme seçimi ve eleman boyutlandırması kararları sonucu ortaya çıkan bina kabuğundan yitirilen ve kazanılan toplam ısı miktarlarına bağlı olarak değişim gösterir. Dolayısıyla bina kabuğu, iç ve dış çevreyi ayırması sebebi ile ısı kayıplarını etkileyen önemli bir etken olarak tanımlanabilir. Kabuk elemanından ısı geçişini etkileyen en önemli parametrelerden biri olan toplam ısı geçirme katsayısına ilişkin üst sınır değerler (U değeri), TSE 825 Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları Standardında, derece gün hesaplama yöntemine göre belirlenmiş olan iklim bölgeleri için ayrı ayrı önerilmiştir.

2. YÖNTEM

2.1. Ses Azalma İndisi Değerlerinin Ölçülmesi için Laboratuvar Deneyleri

Çalışmada TS EN ISO 10140-5 standardına [**4**] göre inşa edilmiş İTÜ Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Laboratuvarı Akustik Ünitesi'nde bulunan "Ses Yalıtımı Test Odaları"nda, TS EN ISO 10140-2 standardına [**5**] göre hava doğuşlu ses azalma indisi ölçümleri yapılmıştır.
Odalar arasındaki ses yalıtımı birkaç benzer büyüklük ile anlatılabilir. Bunlar bina performansını ifade eden, Ağırlıklı Ses Azalma İndisi, R_w ($C;C_{tr}$) tek sayılı büyüklükleri ile frekans bantlarında (1/3 oktav bantları ve oktav bantları) ölçülür. Yapılarda kullanılan akustik frekans aralığı genellikle 100–3150 Hz aralığındadır. Hafif bina yapımına eğilimden dolayı düşük frekanslarda problemler ortaya çıkmaya başlamıştır. Komşu mekânlardaki müzik ya da televizyon sesleri buna bir örnektir. C (A ağırlıklı pembe gürültü) ve C_{tr} (A ağırlıklı şehir trafik gürültüsü) spektrumları bu sorunları ele almak amacıyla kullanılmaktadırlar. Genelde içeride ve dışarıda hâkim olan gürültülerin çoğunun spektrumu, Spektrum 1 ve Spektrum 2'nin aralığı içerisinde yer alır, C ve C_{tr} gibi spektrum adaptasyon büyüklükleri böylece gürültünün birçok tipine göre ses yalıtımını karakterize etmede kullanılabilir. [**6**]

2.2. Toplam Isı Geçiş Kaybı Değerlerinin Hesaplanması

Ses azalma indisi ölçümleri için önerilmiş olan hava tabakalı çift tuğla duvar yapı elemanı tipleri için toplam ısı geçirme katsayısı (U değeri) hesaplamaları aşağıdaki bağıntı yardımı ile yapılmıştır. [**3**]

$$U_o = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + ... + \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_d}} \qquad (1)$$

Burada,
U_o : opak bileşenin toplam ısı geçirme katsayısı, W/m^2°K
α_i, α_d : dış ve iç yüzeysel ısı iletkenlik katsayıları, W/m^2°K
d_1, d_2,.., d_n : opak bileşeni oluşturan katmanların kalınlıkları, m
λ_1, λ_2,.., λ_n : opak bileşeni oluşturan katmanların ısı iletkenlik katsayıları, W/m°K

Hesaplamalar ılımlı-nemli iklim bölgesini temsil eden İstanbul şehri için yapılmıştır. Isı geçirme katsayısı üst sınır değeri, TSE 825 Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları [**3**], Ek-A3'de verilmiş olan tablodan, 2. bölgeye ait, U_D : 0,60 W/m²°K olarak alınmıştır. Hesaplamalar sonucu toplam ısı geçirme katsayısı 0,60 W/m²°K olan ve binanın enerji ihtiyacının standartta verilen sınır değerlerin altında kalmasını sağlayan yapı bileşenleri ses azalma indisi ölçümlerinde değerlendirilmek üzere seçilmiştir. Öte yandan duvarı oluşturan malzemelerin

konstrüksiyonunda, dış duvardan beklenilen performans gerekliliklerinin zaman içinde yitirilmemesi için duvarın ses yalıtım özeliği kadar, yangın, su-buhar ve ısı kontrolü birlikte değerlendirilerek ele alınmıştır. Yapı elemanlarını oluşturan malzemelerin termofiziksel özelikleri **Çizelge 1**'de verilmiştir.

Çizelge 1: Yapı elemanlarını oluşturan malzemelerin termofiziksel özelikleri

Tabaka	Tabaka kalınlığı (d), m	Su buharı difüzyon direnci katsayısı (μ)	Difüzyon dengi hava tabakası kalınlığı (S_d), m	Isıl iletkenlik hesap değeri (λ_h), W/mK	Yüzeysel ısıl iletkenlik direnci (R), m^2K/W
Dış yüzeyin yüzeysel ısıl iletkenlik direnci	-	-	-	-	0,04
Çimento harcı	0,03	15	0,45	1,6	0,019
Yatay delikli tuğlalarla yapılan duvarlar (TS EN 771-1)	0,085	5	0,425	0,36	0,236
	0,135	5	0,675	0,36	0,375
Hava tabakası (düşey) Kalınlık=10	0,01	1	0,01	0,071	0,141
Hava tabakası (düşey) Kalınlık=20	0,02	1	0,02	0,125	0,16
Hava tabakası (düşey) Kalınlık=50	0,05	1	0,05	0,278	0,18
Mineral ve bitkisel lifli ısı yalıtım malzemeleri (Cam yünü, Taş yünü vb.) (TS901 EN 13162 10)	0,04	1	0,04	0,04	1
	0,08	1	0,08	0,04	2
Polietilen folyo	0,0005	80000	40	0,19	0,003
Genleştirilmiş perlit agregasıyla sıvalar	0,02	15	0,3	0,24	0,083
İç yüzeyin yüzeysel ısıl iletkenlik direnci	-	-	-	-	0,25

2.3. Hava tabakalı masif duvar yapı elemanı (çift tabakalı duvar)

Bu duvar tipinde hava doğuşlu sese karşı direnç, tabakaların birim alanının kütlesine ve birbirlerinden ne derece ayrıldığına, iki duvar tabakası arasındaki boşluk mesafesine, duvarın içinde yer alan ses yutucu malzemenin yoğunluğuna, cinsine, kalınlığına, ses emme katsayısına ve hava geçiş direncine bağlıdır.
Bu araştırmada iki duvar tabakası arasında ses yutucu malzeme olarak taşyünü kullanılmıştır. Araştırmanın karşılaştırılabilirliği açısından tüm duvarlarda manto taşyünü kullanılmıştır. Dış ve iç sıva olarak sırasıyla çimento-kireç sıva ve perlitli alçı sıva kullanılmıştır. Duvar tabakaları paslanmaz galvanize demir çubuklar kullanılarak birbirine bağlanmıştır. 50 ve 100 mm olacak şekilde düzenlenen duvar içindeki boşluk mesafesinin iki yanında yer alan duvar tabakalarını birbirine bağlayan bağlantı elemanları (örn. duvar kenetleri ve temeller) izolasyonun düzeyini etkiler.
Bu duvar yapı elemanı tipinde,
a) duvar kesitinin toplam kalınlığı,
b) tuğla malzemesi cinsi ve kalınlığı,
c) duvar tabakaları arasındaki boşluk mesafesi,
d) kullanılan ses yutucu malzemenin kalınlığı gibi faktörlerin ses geçişindeki etkisi araştırılmıştır.
Duvar yapı elemanlarında kullanılan taşyününün yoğunluğu 150 kg/m^3, yüzey ağırlığı 4 cm kalınlık için 6 kg/m^2, 8 cm kalınlık için 12 kg/m^2'dir. **Çizelge 2**'de duvar yapı elemanlarında kullanılan yatay boşluklu pişmiş tuğlaların özellikleri verilmektedir. **Çizelge 3**'te ele alınan duvar yapı elemanı tipleri, şekil ve ısı yalıtımı değerleri verilmiştir.

Çizelge 2: Yatay boşluklu tuğla duvar özellikleri

Yatay boşluklu tuğla duvar kalınlığı	8,5 cm	13,5 cm
Fotoğraf		
Uzunluk x genişlik x yükseklik (cm)	19 x 19 x 8,5	19 x 19 x 13.5
gr./adet	1850	2800
Alan yoğunluğu, kg/m^2	51	77,5
Boşluklu tuğla yoğunluğu, kg/m^3	600	574

Çizelge 3: Hava tabakalı masif duvar yapı elemanı tipleri (çift tabakalı duvarlar)

PT: Pişmiş Toprak
yd: Yatay Delikli

CK: Çimento- Kireç Sıva
PAS: Perlitli Alcı Sıva

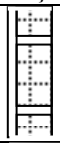
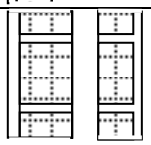
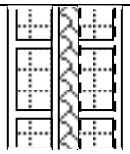
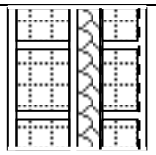
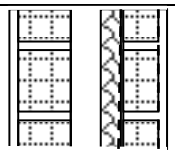
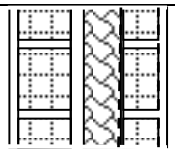
Gözenekli Malzeme
TY: Taşyünü

PT.yd / 13.5-8.5 / ÇK-PAS / BM5 / TY4 / PE

Genişlik 1 – Genişlik 2

Boşluk Mesafesi (cm)

Polietilen Folyo

Kod	Açıklama	Şekil DIŞ İÇ	U
PT.yd / 8.5 / PAS	8,5cm yatay delikli tuğla 2cm perlitli alçı (iç) sıva		2,04**
PT.yd / 13.5-8.5 / ÇK-PAS / BM5	3cm çimento-kireç (dış) sıva 13,5cm yatay delikli tuğla 5cm boşluk 8,5cm yatay delikli tuğla 2cm perlitli alçı (iç) sıva		0,94**
PT.yd / 8.5-8.5 / ÇK-PAS / BM5 / TY4 / PE *	3cm çimento-kireç (dış) sıva 8,5cm yatay delikli tuğla 5cm boşluk içerisinde 4cm taşyünü(folyolu) 8,5cm yatay delikli tuğla 2cm perlitli alçı (iç) sıva		0,60
PT.yd / 13.5-8.5 / ÇK-PAS / BM5 / TY4 / PE *	3cm çimento-kireç (dış) sıva 13,5cm yatay delikli tuğla 5cm boşluk içerisinde 4cm taşyünü (folyolu) 8,5cm yatay delikli tuğla 2cm perlitli alçı (iç) sıva		0,49
PT.yd / 13.5-8.5 / ÇK-PAS / BM10 / TY4 / PE *	3cm çimento-kireç (dış) sıva 13,5cm yatay delikli tuğla 10cm boşluk içerisinde 4cm taşyünü (folyolu) 8,5cm yatay delikli tuğla 2cm perlitli alçı (iç) sıva		0,48
PT.yd / 13.5-8.5 / ÇK-PAS / BM10 / TY8 / PE *	3cm çimento-kireç (dış) sıva 13,5cm yatay delikli tuğla 10cm boşluk içerisinde 8cm taşyünü (folyolu) 8,5cm yatay delikli tuğla 2cm perlitli alçı (iç) sıva		0,33

* PE gösterilen iki yerden birine yerleştirilebilir. ** Toplam ısı geçirme katsayısı değeri yetersizdir.

3. SES YALITIMI ÖLÇÜM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Tek tabakalı duvarlarda, ses yalıtımının, frekans spektrumu üzerinde üç etki bölgesine ayrıldığı kabul edilir, bunlar, sertlik kontrolü altındaki bölge, kütle kontrolü altındaki bölge ve sönümleme bölgesidir. Sertlik ve kütle bölgelerini rezonans frekansı, kütle ve sönümleme bölgelerini kritik frekans ayırmaktadır. 8,5 cm kalınlığında tek tabakalı tuğla duvarın rezonans frekansı 25 Hz, kritik frekansı 114 Hz'te gerçekleşmektedir. 13,5 cm kalınlığında tek tabakalı tuğla duvarın rezonans frekansı ise 40 Hz, kritik frekansı 70 Hz'te gerçekleşmektedir. Sadece 8,5 cm kalınlığındaki tuğla duvarın kritik frekansı ölçümlerin gerçekleştiği 100 Hz - 3150 Hz aralığına girmektedir. Bu durumda 8,5 cm tuğla içeren tüm duvarlarda 114 Hz'te bir düşüş beklenebilir. Her iki tek tabakalı duvar da frekans spektrumu boyunca sönümlemenin etkili olduğu bölgede bulunmaktadır. [**7, 8**]

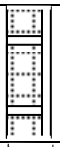
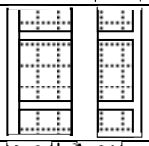
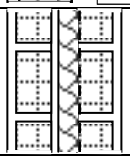
Hava tabakalı çift duvarlar için ses yalıtımı yine üç bölgeye ayrılmaktadır, A, B ve C bölgeleri. Alçak frekanslarda oluşan A bölgesinde, tabakalar tek tabaka olarak hareket eder ve hava boşluğunun etkisi göz ardı edilebilir. Bu bölgede tabakaların toplam kütlesi etkilidir. B bölgesinde tabakalar arasındaki hava boşluğunda duran dalgalar oluşur. Bu bölgede tabakaların kendi ses yalıtımları ve hava boşluğunun genişliği önem kazanır. A ve B bölgelerini boşluk rezonans frekansı ayırır. C bölgesinde ise iki tabaka birbirinden bağımsız olarak hareket eder. İki tabaka arasındaki hava boşluğu bir oda gibi davranır. Bu bölgede tabakaların kendi ses yalıtımları ve hava boşluğunun yutuculuğu önem kazanır. B ve C bölgelerini ayıran frekans sadece hava boşluğunun kalınlığından etkilenir. [**7, 8**]

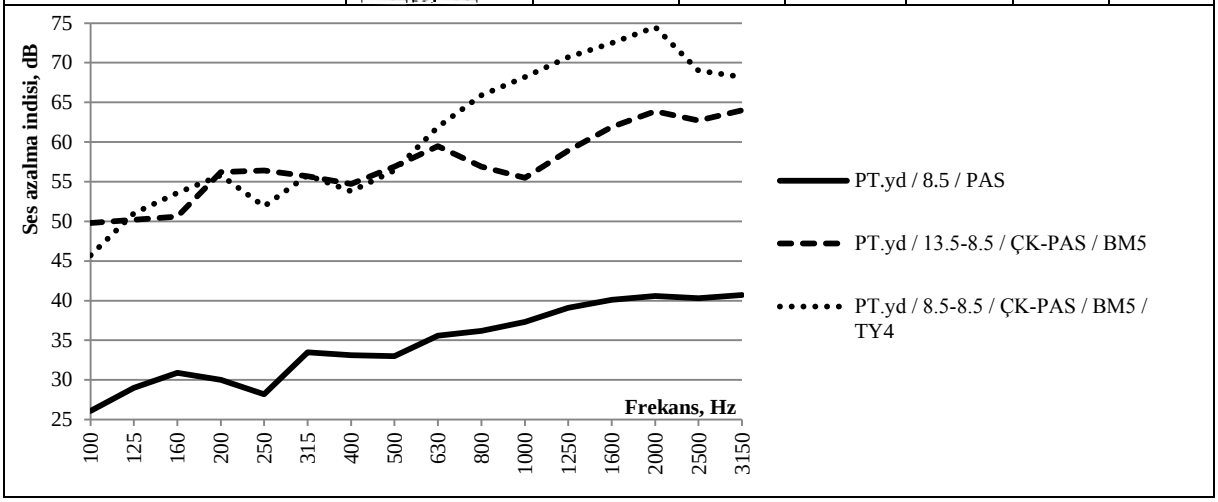
Boşluk rezonansı, 8,5 cm kalınlığında çift tuğla duvarda 53 Hz, 13,5 ve 8,5 cm kalınlığında tuğlaları içeren ve 5 cm hava boşluğu bulunan duvarlarda 48 Hz, 10 cm hava boşluğu olan duvarlarda ise 34 Hz hesaplanmakta, böylece tümü ölçüm yaptığımız frekans aralığının dışında kalmaktadır. Ele aldığımız frekans aralığında duvarlarda B ve C bölgeleri etkili olmaktadır. 5 cm boşluk içeren duvarlarda 1082 Hz'in üzerinde, 10 cm boşluk içeren duvarlarda ise 541 Hz'in üzerinde C bölgesine girilmekte, daha alçak frekanslar B bölgesinde yer almaktadır.

Şekil 1'de PT.yd/8.5/PAS, PT.yd/13.5-8.5/ÇK-PAS/BM5 ve PT.yd/8.5-8.5/ÇK-PAS/BM5/TY4 duvarlarının ses azalma indisleri karşılaştırılmıştır. PT.yd/8.5/PAS duvarı 8,5 cm kalınlığında tek tabakalı bir tuğla duvardır ve tek tarafında 2 cm kalınlığında perlitli alçı sıva uygulanmıştır. PT.yd/13.5-8.5/ÇK-PAS/BM5 duvarı, PT.yd/8.5/PAS duvarının sıvasız yönüne 5 cm hava boşluğu bırakılarak 13,5 cm tuğla duvar ve çimento kireç sıva uygulanmış bir çift tabakalı duvardır. PT.yd/8.5-8.5/ÇK-PAS/BM5/TY4 duvarı ise, PT.yd/8.5/PAS duvarının sıvasız yönüne 5 cm hava boşluğu içerisine 4 cm taşyünü bırakılarak 8,5 cm tuğla duvar ve çimento kireç sıva uygulanmış bir çift tabakalı duvardır. 8,5 cm kalınlığında tuğla içerdiği için üç duvarda da 100 Hz civarında kritik frekans nedeniyle düşüş gözlenmektedir, fakat hem 8,5 hem 13,5 cm kalınlığında tuğla içeren duvarda düşüş diğerlerine göre daha az etkili olmuştur. 13,5 cm kalınlığında duvarın sisteme hava boşluğu ile birlikte eklenmesiyle tüm frekans spektrumunda 18 dB - 28 dB, sisteme 8,5 cm kalınlığında tuğlanın taşyünü ile birlikte eklenmesiyle 19 dB - 34 dB aralığında artış yaşanmıştır. Çift duvarlarda hem B hem de C bölgelerinde, içerdiği iki duvarın ses yalıtımlarının toplamı etkili olduğu için yüksek bir artış gerçekleşmiştir, C bölgesinde etkili olan ses yutuculuğu, taşyünü içeren duvarın ses yalıtımını daha da arttırmıştır.

Tek tabakalı duvarın R_w değeri 37 dB iken, çift duvarlarınki 60 dB ve 64 dB olmuştur, bunun nedeni ses basıncının aritmetik değil, logaritmik olması ve sadece kütleye bağlı olmamasıdır. Spektrum adaptasyon büyüklükleri açısından karşılaştırılığında ise çift duvarlarda alçak frekanslardaki değerlerin yüksek frekanslardaki değerlere göre oldukça düşük olmasından dolayı düşüş görülmektedir. Pembe gürültü açısından karşılaştırıldığında R_w+C değerleri 37,

59 ve 62 dB olurken, trafik gürültüsü açısından R_w+C_{tr} değerleri 35, 57 ve 59 dB'e düşmektedir.

Kod	Şekil DIŞ İÇ	Tuğla kalınlıkları (cm)	Boşluk (cm)	Taşyünü (cm)	R_w ($C;C_{tr}$)	R_w+C	R_w+C_{tr}
PT.yd / 8.5 / PAS		8,5	-	-	37 (0;-2)	37	35
PT.yd / 13.5-8.5 / ÇK-PAS / BM5		13,5-8,5	5	0	60 (-1;-3)	59	57
PT.yd / 8.5-8.5 / ÇK-PAS / BM5 / TY4 / PE		8,5-8,5	5	4	64 (-2;-5)	62	59

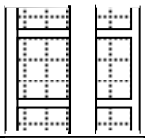
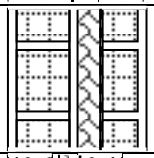
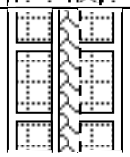


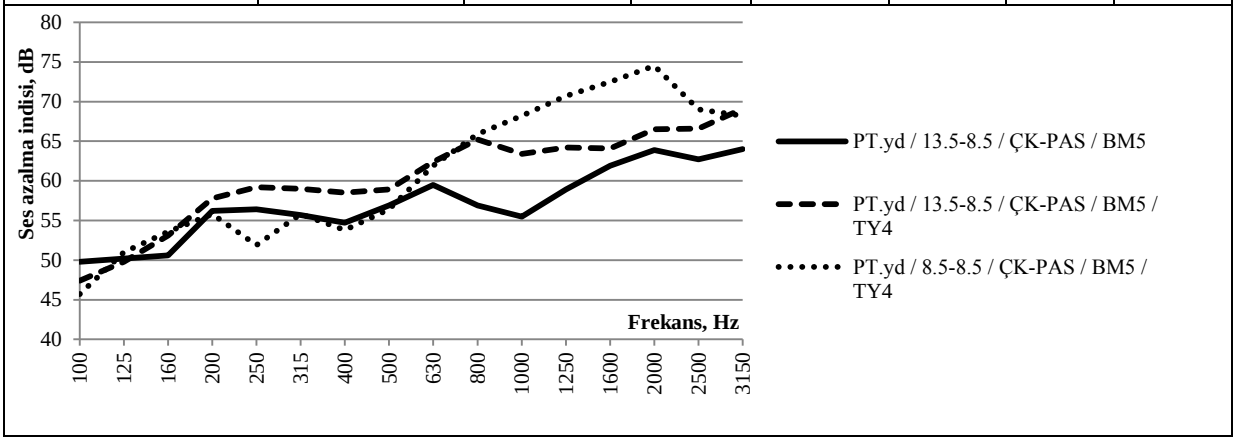
Şekil 1: PT.yd/8.5/PAS, PT.yd/13.5-8.5/ÇK-PAS/BM5 ve PT.yd/13.5-8.5/ÇK-PAS/BM5/TY4 duvarlarının özelliklerinin ve ses azalma indislerinin karşılaştırılması

Şekil 2'de PT.yd/13.5-8.5/ÇK-PAS/BM5, PT.yd/13.5-8.5/ÇK-PAS/BM5/TY4 ve PT.yd/8.5-8.5/ÇK-PAS/BM5/TY4 duvarlarının ses azalma indisleri karşılaştırılmıştır. PT.yd/13.5-8.5/ÇK-PAS/BM5 duvarı, 13,5 cm ve 8,5 cm kalınlığında iki adet tuğla duvarın 5 cm hava boşluğu ile ayrıldığı bir çift tabakalı duvardır. Duvarın 8,5 cm'lik tarafında 2 cm perlitli alçı sıva, 13,5 cm'lik tarafında 3 cm çimento kireç sıva uygulanmıştır. PT.yd/13.5-8.5/ÇK-PAS/BM5/TY4 duvarı aynı duvarın 5 cm'lik hava boşluğunun içerisine 4 cm taşyünü yerleştirilmiş halidir. PT.yd/8.5-8.5/ÇK-PAS/BM5/TY4 duvarı ise 4 cm taşyünü içeren çift duvarın iki tabakasının da 8,5 cm tuğla olarak örülmüş halidir. Özellikle çift 8,5 cm tuğla içeren duvarda 100 Hz civarında kritik frekans nedeniyle düşüş gözlenmektedir.

13,5 ve 8,5 cm tuğla içeren sisteme 4 cm taşyünü eklenmesi ile birlikte, 630 Hz'e kadar 4 dB kadar artış oluşurken, 630 Hz'ten sonra 8 dB'e kadar artış görülmektedir. Bunun nedeni B bölgesinde tabakaların kendi ses yalıtımları ve hava boşluğunun genişliğinin etkili olması, C bölgesinde ise tabakaların kendi ses yalıtımları ve hava boşluğunun yutuculuğunun etkili olmasıdır. Karşılaştırmakta olduğumuz iki duvar arasında tabakalar ve hava boşluğu genişliği bakımından fark olmaması, fakat boşluk içerisindeki ses yutuculuğunda fark olması, C bölgesinde yani yüksek frekanslarda artışa neden olmuştur. Sistemdeki tuğla duvar

tabakalarından 13,5 cm olanın 8,5 cm'e düşürülmesiyle, alçak frekanslarda değişiklik olmamış, orta frekanslarda toplam yalıtımın azalmasıyla düşüş yaşanmış, yüksek frekanslarda ise sistemin yutuculuğunun artmasıyla artış yaşanmıştır.
Boşluğa taşyünü eklenmesiyle R_w 60 dB'den 64 dB'e, pembe gürültü açısından R_w+C 59 dB'den 63 dB'e, trafik gürültüsü açısından R_w+C_{tr} 57 dB'den 60 dB yükselmiştir. Çift duvardaki tuğlalardan birinin kalınlığının azaltılmasıyla, R_w 64 dB ile aynı kalmış, pembe gürültü ve trafik gürültüsü açısından ise sırasıyla 63'ten 62 dB'e ve 60'tan 59 dB'e düşmüştür.

Kod	Şekil DIŞ İÇ	Tuğla kalınlıkları (cm)	Boşluk (cm)	Taşyünü (cm)	R_w ($C;C_{tr}$)	R_w+C	R_w+C_{tr}
PT.yd / 13.5-8.5 / ÇK-PAS / BM5		13,5-8,5	5	0	60 (-1;-3)	59	57
PT.yd / 13.5-8.5 / ÇK-PAS / BM5 / TY4 / PE		13,5-8,5	5	4	64 (-1;-4)	63	60
PT.yd / 8.5-8.5 / ÇK-PAS / BM5 / TY4 / PE		8,5-8,5	5	4	64 (-2;-5)	62	59



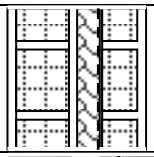
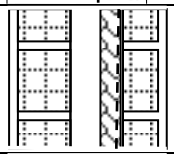
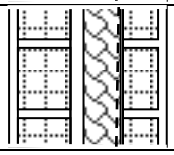
Şekil 2: PT.yd/13.5-8.5/ÇK-PAS/BM5, PT.yd/13.5-8.5/ÇK-PAS/BM5/TY4 ve PT.yd/8.5-8.5/ÇK-PAS/BM5/TY4 duvarlarının özelliklerinin ve ses azalma indislerinin karşılaştırılması

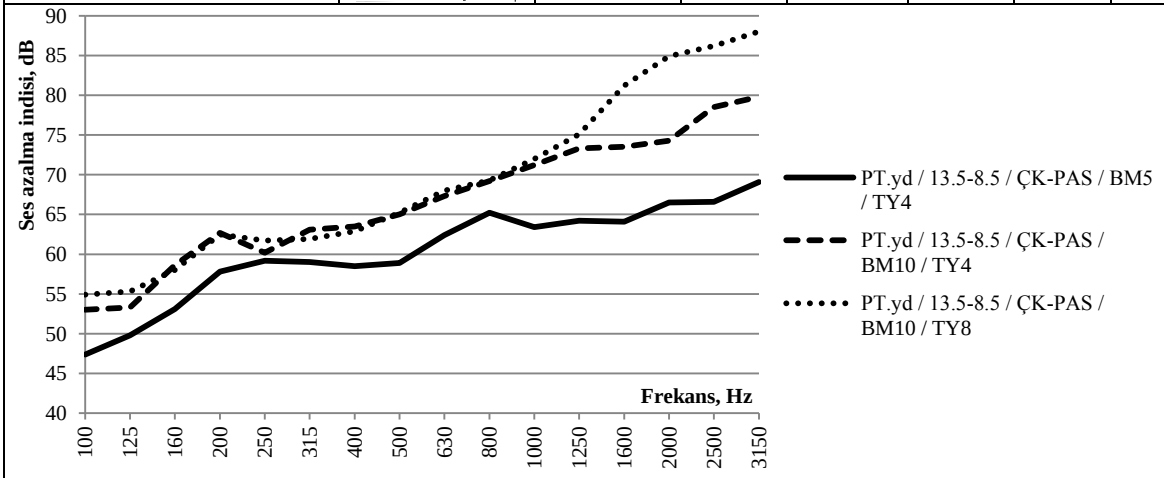
Şekil 3'te PT.yd/13.5-8.5/ÇK-PAS/BM5/TY4, PT.yd/13.5-8.5/ÇK-PAS/BM10/TY4 ve PT.yd/13.5-8.5/ÇK-PAS/BM10/TY8 duvarlarının ses azalma indisleri karşılaştırılmıştır. PT.yd/13.5-8.5/ÇK-PAS/BM5/TY4 duvarı, 13,5 cm ve 8,5 cm kalınlığında iki adet tuğla duvarın 5 cm hava boşluğu ile ayrıldığı, hava boşluğunun da 4 cm taşyünü ile doldurulduğu bir çift tabakalı duvardır. PT.yd/13.5-8.5/ÇK-PAS/BM10/TY4 duvarı ise aynı duvarın hava boşluğunun 10 cm'e çıkartıldığı halidir. PT.yd/13.5-8.5/ÇK-PAS/BM10/TY8 duvarları ise 10 cm boşluğun içerisine 8 cm taşyünü koyulmuş halidir.
8,5 cm kalınlığında tuğla içerdiği için üç duvarda da 100-125 Hz aralığında kritik frekans nedeniyle düşüş gözlenmektedir. Sistemdeki hava boşluğunun 5 cm'den 10 cm yükseltilmesi ile birlikte, alçak ve orta frekanslarda ortalama 5 dB artış, yüksek frekanslarda ise 10 dB'e kadar artış yaşanmıştır. 5 cm boşluk içeren duvarda B ve C bölgelerini 1082 Hz, 10 cm boşluk içeren duvarlarda ise 541 Hz ayırmaktadır. Alçak ve orta frekanslarda B bölgesi etkindir ve bu

bölgede hava boşluğunun genişliğinin etkisi bulunmaktadır. Yüksek frekanslarda ise C bölgesi etkili olmakta ve bu nedenle hava boşluğunun yutuculuğunun artışının etkisi görülmektedir. Taşyünü kalınlığı iki duvarda da aynı olmasına rağmen ses yutuculuk etkisi hava boşluğu kalınlığının artması ve havanın kendi yutuculuğu nedeniyle farklılaşmaktadır. B ve C bölgelerini ayıran frekans 5 cm hava boşluğu bulunan duvarda 1082 Hz, 10 cm hava boşluğu bulunan duvarda 541 Hz'te oluşmaktadır. 1000 Hz'ten itibaren iki duvarın ses azaltım indisleri arasındaki fark önemli ölçüde artmaktadır.

Sistemdeki taşyünü kalınlığının 4 cm'den 8 cm yükseltilmesi ile birlikte, alçak ve orta frekanslarda artış yaşanmamış, yüksek frekanslarda ise 8-10 dB artış yaşanmıştır. Bunun nedeni B bölgesinde tabakaların kendi ses yalıtımları ve hava boşluğunun genişliğinin etkili olması, C bölgesinde ise tabakaların kendi ses yalıtımları ve hava boşluğunun yutuculuğunun etkili olmasıdır. Karşılaştırmakta olduğumuz iki duvar arasında tabakalar ve hava boşluğu genişliği bakımından fark olmaması, fakat boşluk içerisindeki ses yutuculuğunda fark olması, C bölgesinde yani yüksek frekanslarda artışa neden olmuştur.

Boşluğun iki katına çıkmasıyla R_w 64 dB'den 70 dB'e, pembe gürültü açısından R_w+C 63 dB'den 69 dB'e, trafik gürültüsü açısından R_w+C_{tr} 60 dB'den 66 dB yükselmiştir. Taşyünü kalınlığının iki katına çıkmasıyla R_w 70 dB'den 71 dB'e, pembe gürültü açısından R_w+C 69 dB'den 70 dB'e yükselmiştir, trafik gürültüsü açısından R_w+C_{tr} 66 dB ile aynı kalmıştır.

Kod	Şekil DIŞ İÇ	Tuğla kalınlıkları (cm)	Boşluk (cm)	Taşyünü (cm)	R_w ($C;C_{tr}$)	R_w+C	R_w+C_{tr}
PT.yd / 13.5-8.5 / ÇK-PAS / BM5 / TY4 / PE		13,5-8,5	5	4	64 (-1;-4)	63	60
PT.yd / 13.5-8.5 / ÇK-PAS / BM10 / TY4 / PE		13,5-8,5	10	4	70 (-1;-4)	69	66
PT.yd / 13.5-8.5 / ÇK-PAS / BM10 / TY8 / PE		13,5-8,5	10	8	71 (-1;-5)	70	66



Şekil 3: PT.yd/13.5-8.5/ÇK-PAS/BM5/TY4, PT.yd/13.5-8.5/ÇK-PAS/BM10/TY4 ve PT.yd/13.5-8.5/ÇK-PAS/BM10/TY8 duvarlarının özelliklerinin ve ses azalma indislerinin karşılaştırılması

4. SONUÇ

Sunulan çalışma, tuğla, alçı levha ve taşyünü kullanılarak oluşturulan tek tabakalı, hava boşluklu ve çift tabakalı duvar yapı elemanlarının ısı, nem ve ses açısından değerlendirildiği bir araştırmanın parçasıdır. Bu çalışmada, yatay delikli tuğla ve taşyünü kullanılarak ve ısı ile nem gereksinimlerini sağlayarak tasarlanan çift tuğla duvar yapı elemanlarının ses azalma indisleri laboratuvarda ölçülmüş, değerlendirilmiş ve ses azalma indisi açısından en uygun duvar yapı elemanının en doğru şekilde tasarlanması için gerekli değerler ortaya konulmuştur. **Çizelge 4**'te, bu çalışmanın sonucunda ortaya çıkan, duvar yapı elemanlarındaki bileşen değişikliklerinin ses azalma indislerine etkileri, frekans bölgeleri, ağırlıklı ses azalma indisi R_w ve spektrum adaptasyon büyüklükleri C ve C_{tr} için verilmiştir. Araştırmada yer alan tek tabakalı, hava boşluklu ek tabakalı ve çift tabakalı duvarların karşılaştırmalarına ileriki çalışmalarda yer verilecektir.

Çizelge 4: Hava tabakalı masif tuğla duvar yapı elemanlarındaki bileşen değişikliklerinin frekans bölgelerinde ses azalma indislerine, ağırlıklı ses azalma indisine R_w ve spektrum adaptasyon büyüklükleri C ve C_{tr} 'ye etkileri

Eylem	Alçak-orta frekanslar	Yüksek frekanslar	(ağırlıklı)	(spektrum adaptasyon)	
			R_w	C	C_{tr}
İkinci tuğla tabakası eklenmesi	+ ~22 dB	+ ~25 dB	+ ~25 dB	- 2 dB	- 2 dB
Bir tuğla tabakasının kalınlığının arttırılması	+ ~2 dB	- ~4 dB	Aynı	+ 1 dB	+ 1 dB
Boşluğa ses yutucu eklenmesi	+ ~2 dB	+ ~5 dB	+ 4 dB	Aynı	- 1 dB
Boşluk derinliğinin iki katına çıkartılması	+ ~4 dB	+ ~8 dB	+ 6 dB	Aynı	Aynı
Ses yut. malz. kalınlığının 2 katına çıkartılması	Aynı	+ ~5 dB	+ 1 dB	Aynı	- 1 dB

TEŞEKKÜR

Çalışmaya destek veren İTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri birimine ve sponsor olan KİLSAN Kil Sanayi ve Ticaret A.Ş., Alçıder Türkiye Alçı Üreticileri Derneği ve İzocam Ticaret Sanayi A.Ş.'ye teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

1. Çevre ve Orman Bakanlığı, "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği" (2002/49/EC); (2010), *Resmi Gazete* 27601.

2. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, "Yapı Malzemeleri Yönetmeliği" (305/2011/AB), (2013), *Resmi Gazete* 28703.

3. TSE, *TSE 825, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları*, (2008).

4. TSE, *TS EN ISO 10140-5:2010* (İngilizce Metin), *Akustik - Yapı elemanlarında ses yalıtımının laboratuvar ölçümü - Bölüm 1:Deney yerleri ve teçhizatı için kuralları*, (2011).

5. TSE, *TS EN ISO 10140-2, Akustik - Yapı elemanlarının ses yalıtımının laboratuvarda ölçülmesi - Bölüm 2: Hava ile yayılan ses yalıtımının ölçülmesi*, (2013).

6. TSE, *TS EN ISO 717-1* (İngilizce Metin), *Akustik - Yapılarda ve yapı elemanlarında ses yalıtımının değerlendirilmesi - Bölüm 1: Hava ile yayılan sesin yalıtımı*, (2013).

7. R.F. Barron, *Industrial Noise Control and Acoustics*, Taylor & Francis, (2002).

8. S. Yılmaz Demirkale, *Çevre ve Yapı Akustiği*, Birsen Yayınevi, (2007).

SALONLARIN MİMARİ TASARIMININ AKUSTİK PERFORMANSA ETKİLERİ: FAN VE ELMAS SALON ÖRNEĞİ

Arş. Gör. Nuriye Nida ÇELEBİ ŞEKER[a]
Prof. Dr. Sevtap YILMAZ[b]
İTÜ Mimarlık Fakültesi
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

ÖZET

Konuşma amaçlı salonlara örnek olarak; tiyatrolar, konferans salonları, derslikler, toplantı salonları verilebilir, bu salonlar birçok plan şemasına sahip olabilecek hacimlerdir. Bahsedilen plan farklılıkları akustik açıdan da salonlarda değişikliklere sebep olmaktadır. Bu çalışma kapsamında fan ve elmas olmak üzere iki farklı plan şemalı salonlar ele alınmış ve bu salonlar akustik açıdan değerlendirilmiştir. Fan ve elmas salonlar için konuşmada öncelikli olan; Erken Düşme Süresi (EDT-Early Decay Time), Çınlama Süresi (T-Reverberation Time), Belirginlik, (D-Definition), Yanal Yansımalar (LF-Lateral Fraction), Ses Şiddeti (G-Sound Strength), Merkez Zaman (Ts-Center Time) gibi akustik parametrelerin değerleri karşılaştırılmış ve hangi plan geometrisinin konuşmayı etkileyen parametrelerden hangisini ne şekilde etkilediği irdelenmiştir.

Anahtar sözcükler: Hacim akustiği, akustik parametreler, konuşma amaçlı salonlar, konferans salonları

ABSTRACT

Examples of speech halls which may have different room shape are theatres, conference halls, lecture halls and auditoriums. These differences cause some acoustical differences. In this paper, fan and diamond plan shapes are examined and these halls are evaluated in terms of acoustic. For these halls, some speech parameters are compared and 'which geometry how affects which parameter' is decided. Some important speech parameters are EDT-Early Decay Time, T-Reverberation Time, D-Definition, LF-Lateral Fraction, G-Sound Strength, Ts-Center Time.

Key words: Room acoustic, acoustical parameters, speech halls, conference halls.

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

1.GİRİŞ

Konuşma amaçlı salonlarda konuşma anlaşılabilirliğinin sağlanması, akustik açıdan önemli gereksinimlerden biridir, sesin duyulması konuşmanın net anlaşılabilir olduğunu göstermez. Konuşmanın çaba sarf edilmeden anlaşılabilmesi, konfor içinde o konuşmayı veya oyunu dinlemeye ve izlemeye yardımcı olmaktadır. Konuşma amaçlı salonlara örnek olarak; tiyatrolar, konferans salonları, derslikler, toplantı salonları verilebilir. Bu çalışma kapsamında konuşma amaçlı salonlardan konferans salonları ele alınmıştır. Konferans salonları birçok plan şemasına sahip olabilecek hacimlerdir.
Salonların geometrisi diğer konfor koşullarında etkili olduğu gibi, akustik performansı da etkilemektedir. Salonlar tasarlanırken bu konfor koşullarının göz önünde bulundurulması salondaki aktivitelerin amacına ulaşması ve başarılı olması için önemlidir.

2. SALON GEOMETRİLERİ

Bu çalışmanın amaç ve kapsamında; hacimleri, kişi sayıları, ortalama yükseklikleri, kişi başına düşen hacim ve kişi başına düşen alanları birbirlerine yaklaşık olan, aynı malzemelerin kullanıldığı, sadece plan geometrisinin birbirinden farklı tutulduğu; fan ve elmas olmak üzere iki salon ele alınmış ve bu salonlar akustik açıdan karşılaştırılmıştır.
Modellenen bu salonlarda Odeon Combined 10 adlı simülasyon programında bazı akustik ölçümler ve değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan bu değerlendirmeler sonucu konferans salonlarında konuşma anlaşılabilirliği açısından bu iki farklı plan şemalarından hangisinin, konuşmayı etkileyen parametrelerden hangisini, nasıl ve neden etkilediği ya da akustik açıdan hangi plan tipinin hangi parametre açısından daha verimli olduğu ya da hangi plan tipinin ne gibi sorunlara neden olduğu sonuçları saptanmıştır. Salon fan; salon 1, salon elmas; salon 2 olarak isimlendirilmiştir.

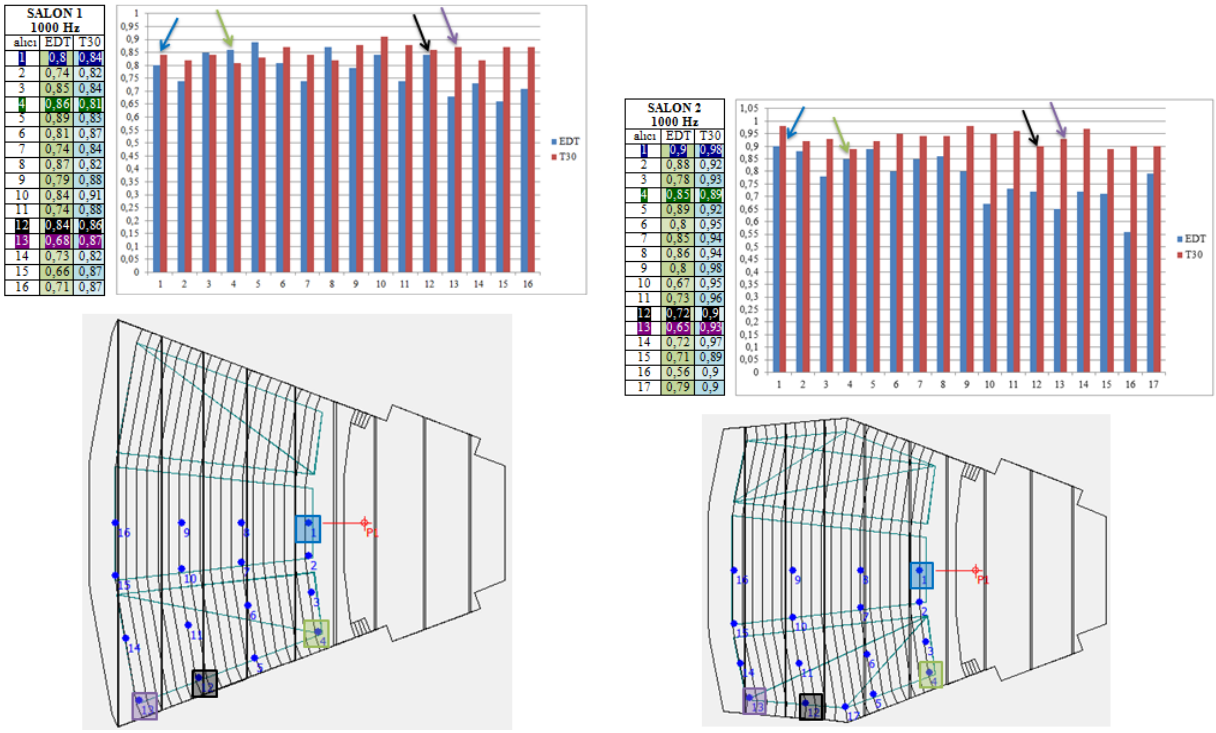
3. ÖLÇÜMLER

Farklı plan şemasına sahip bu iki salon için konuşmada öncelikli olan; Erken Düşme Süresi (EDT-Early Decay Time), Çınlama Süresi (T-Reverberation Time), Belirginlik, (D-Definition), Yanal Yansımalar (LF-Lateral Fraction), Ses Şiddeti (G-Sound Strength), Merkez Zaman (Ts-Center Time) gibi akustik parametrelerin değerleri karşılaştırılmış ve hangi plan geometrisinin konuşmayı etkileyen parametrelerden hangisini ne şekilde etkilediği irdelenmiştir.

3.1. EDT-T30 (Erken Düşme Süresi-Çınlama Süresi)

Çınlama ardışık yansımalar yoluyla ses enerjisinin sürdürülmesidir. Ardışık yansımaların her birinde ses enerjisinin bir kısmı yutulur bu, ses basınç düzeyi işitilmezliğe ulaşana dek sürer. Bu süreç çınlama süresidir ve bunda hacim, yüzeyler, insanlar ve döşemenin yutuculuğu etkilidir [**1**].
Salonun hacmine ve yutuculuğuna bağlı olan T30 çınlama süresi, kaynaktan çıkan seste 30 dB lik bir düşüş olana kadar geçen süreyi ifade ederken, EDT erken düşme süresi kaynaktan çıkan seste 10 dB lik bir düşüş olana kadar geçen süreyi ifade eder. Müzik amaçlı salonlarda EDT değerinin T30 değerinden %10 daha fazla olması istenirken, konuşma amaçlı salonlarda birbirine yakın değerlere sahip olabilir [**2**].

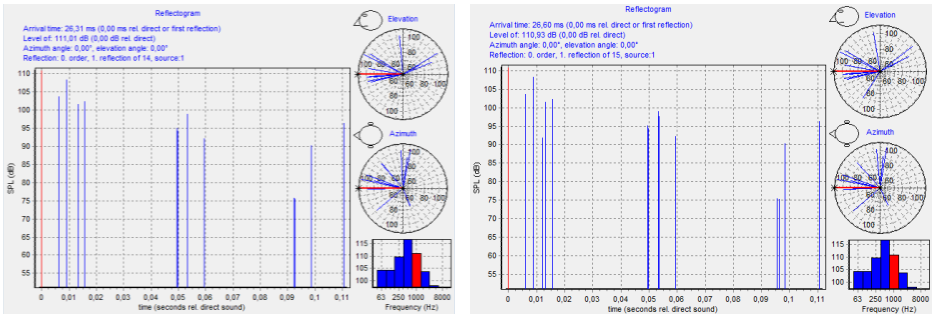
Literatürdeki kaynaklara göre salonun optimum çınlama süresi 0.5-1 sn aralığında kabul edilmiş, değerlendirmeler bunun üzerinden yapılmıştır [**2**].
Salonlarda 1000 Hz' deki EDT ve T30 değerlerine bakıldığında EDT değerinin T30' un % 10' undan fazla ya da eşit olması beklenirken alıcıların çoğunda T30>EDT olmaktadır. Yani bu durum alıcıların ilk yansımaları alamadığını gösterir. Konuşma amaçlı salonlarda tavandan gelen yansımalar EDT değerlerini etkilemektedir. Tavan gecikme sürelerine bakıldığında tavan panelleriyle ilgili herhangi bir sorun olmadığı ortaya konulmuştur. Bu sorunun salon geometrilerinden kaynaklandığı düşünülmüş, geometride en çok kritik olan ve kritik EDT-T30 değerlerine sahip olan alıcılar seçilmiştir. Alıcı 4, alıcı 7, EDT ve T30 için optimum değerleri sağlarken, diğer alıcılar birbirine yakın olan ama T30>EDT değerlerini göstermektedir. Ayrıca alıcı 1 ve alıcı 13 iki salonda da aynı yerde bulunmasına rağmen farklı değerler ortaya koymaktadır. Bu nedenle alıcı 1, alıcı 4, alıcı 12 ve alıcı 13 irdelenmiştir.



Şekil 1: Salonlar için alıcılara göre EDT ve T30 değerleri

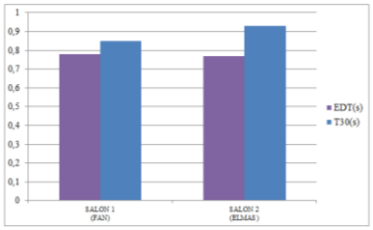
Şekil 1 salonların alıcılara bağlı EDT-T30 ilişkisini göstermektedir. Alıcıların salondaki konumlarına ve EDT-T30 değerlerine salon 1' deki alıcı 4' ün optimum EDT-T30 değerlerine sahip olması, erken yansımaları; yani yan duvarlardan ve tavandan gelen ilk yansımaları iyi aldığını göstermektedir. Salon 2' deki alıcı 4 ise diğer salona oranla optimumdan daha uzak EDT-T30 ilişkisi ortaya koymaktadır.
Şekil 2' de Salonların alıcı 4 için enerji diyagramlarına bakıldığında; Salon 1 en düşük enerjiye dolayısıyla en düşük T30 değerine sahiptir. Fan salonun formundan kaynaklanan bu durumu, bu alıcı bir kez daha ispatlamaktadır. Salon 2 ise salon 1' den biraz daha fazla enerjiye sahiptir, bu da elmas salonun formundan kaynaklanan kırılan yan duvarlar sayesinde olmaktadır.
Salon 1' deki alıcı 12, optimuma yakın değerler vermektedir. Salon 2' nin yan duvarlardaki kırılma sebebiyle toplam enerjisi salon 1' den daha yüksek, dolayısıyla T30 değeri daha yüksek

ve alıcı 4 için ışın yansıma yolu daha fazla olduğundan EDT değeri daha düşüktür. Bu nedenle bu alıcıda T30>EDT farkı salon 2 için daha yüksektir.



Şekil 2: Salonlar için alıcı 4 enerji diyagramı

Salonlardaki alıcı 13, bütün salonlarda erken yansımaları alamasa da yani T30>EDT olsa da, salon 2' de, salon 1' e göre daha fazla farkı olan T30>EDT değeri görülmektedir. Çünkü salon 2 enerji bakımından daha yüksek enerjiye dolayısıyla T30 değerine sahiptir. Alıcı 1' e baktığımızda daha düşük T30 değeri salon 1 yani fan salondadır. Zaten fan salonun formundan dolayı, salonun orta aksındaki alıcılara yan duvarlardan çok fazla yansıma gelmeyeceği için orta akstaki alıcıların enerjisi daha azdır. Salon 2' de de kırılan yan duvarların enerji katkısından dolayı T30 değeri daha yüksektir, bu nedenle T30>EDT daha fazladır. Böylece salon 2, alıcı 1 için salon 1' e göre daha yüksek değerler verse de, EDT-T30 ilişkisi bakımından fan salon daha iyidir.
Salon 1' de de orta aksta yer alan alıcılar fan salonun formundan dolayı T30>EDT olmaktadır ve farkı diğer alıcılara göre daha fazladır. Salonların 1000 Hz' deki ortalama EDT-T30 değerlerini gösteren **Şekil 3**' e bakıldığında düşük T30 değerleri salon 1' e aittir, çünkü fan salon form itibariyle enerji bakımından zayıftır. Bu durum ise daha optimum EDT-T30 ilişkisini ortaya koymaktadır yani, T30 daha düşük olduğu için T30>EDT farkı daha azdır. Salon 2' nin yan duvar katkısından dolayı alıcıların genelinde T30 değerleri salon 1' e göre daha yüksektir. Yüksek T30>EDT farkı salon 2' dedir.

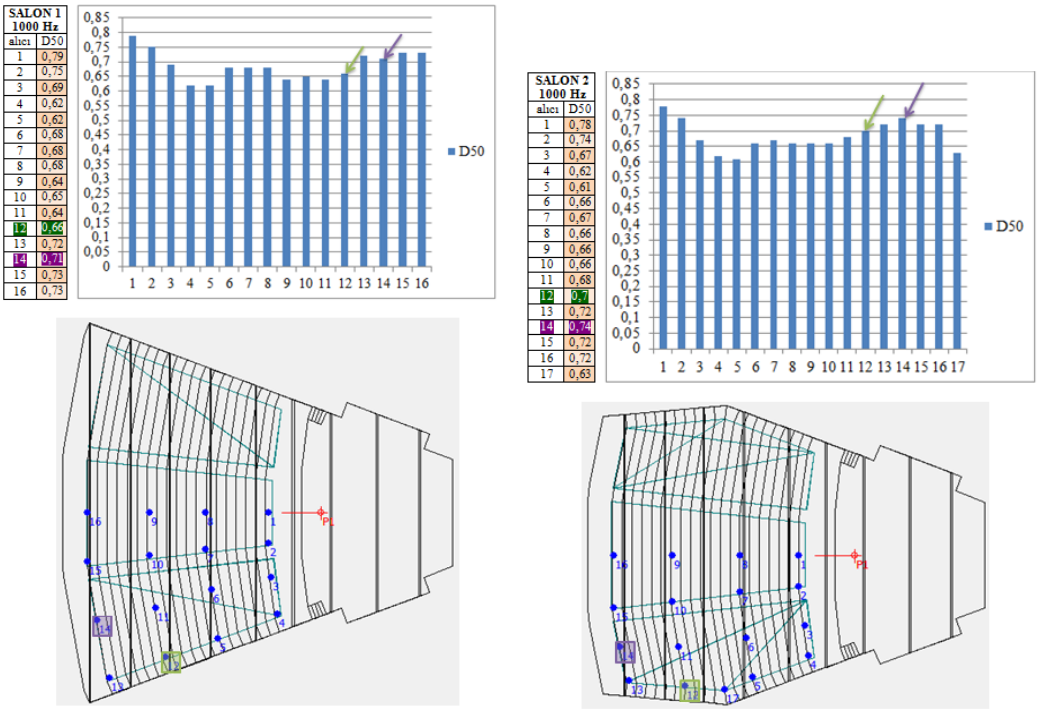


Şekil 3: Salonların 1000 Hz' deki ortalama EDT-T30 değerleri

3.2. D50 (Belirginlik)

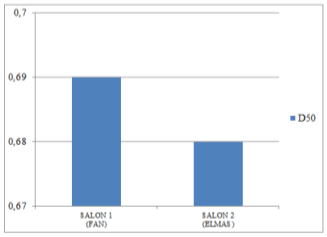
Thiele tarafından geliştirilen belirginlik parametresi ilk 50 ms' lik zaman dilimi içerisinde alıcı noktasına ulaşan ilk yansımaların enerjisinin alıcıya ulaşan toplam ses enerjisine oranı olarak tanımlanır [**3, 4**].
Literatüre göre önerilen optimum D50 değeri 0.3-0.7 arasında olabilir [**5**]. Bu değerlerden yola çıkarak yine 1000 Hz' de salonlardaki alıcıların değerlerine bakıldığında; alıcı 12 ve alıcı 14 irdelenmiştir. Alıcı - kaynak etkileşimine bakıldığında, alıcı 12 ve alıcı 14 salonlarda aynı yerde

bulunmaktadır. Bahsi geçen alıcılar için salon 1, salon 2' den daha düşük D50 değerlerine sahiptir. Bu alıcılar için, salon 2' deki kırılan yan duvarların katkısı etkilidir. Ayrıca D50 tanımından da anlaşılacağı gibi alıcıların ilk 50 ms' deki yansımalarına da bakıldığında, bu durum bir kez daha doğrulanmaktadır.



Şekil 4: Salonlar için alıcılara göre D50 değerleri

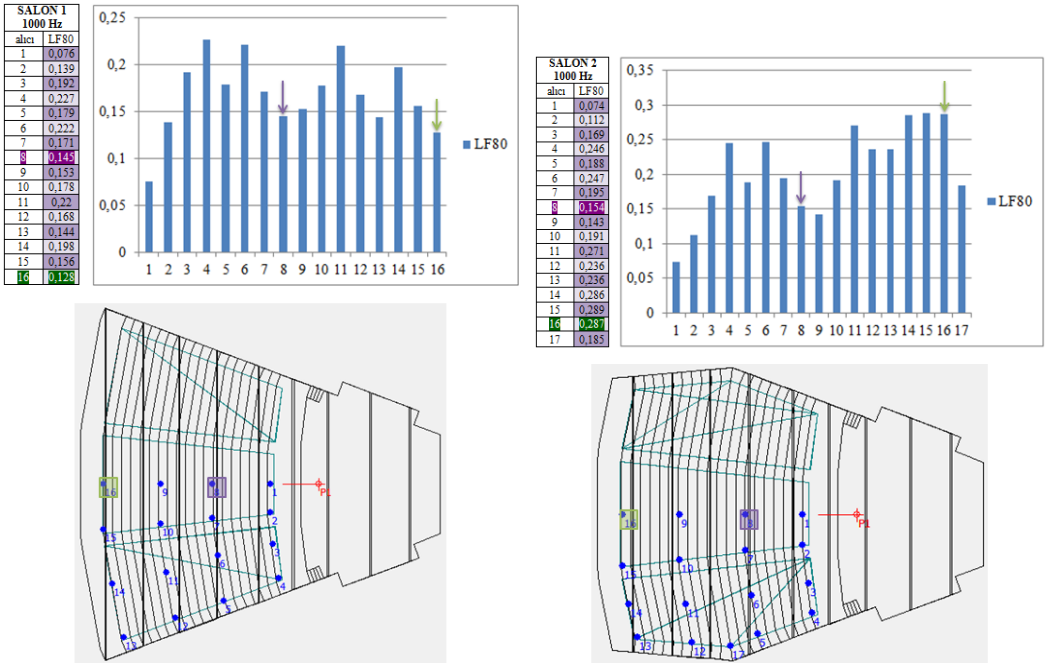
Salonun genelindeki D50 değerlerine bakılacak olursa; elmas salondaki kırılan yan duvarların katkısından dolayı salon 2 daha yüksek D50 değerlerine sahiptir. **Şekil 5'** e bakıldığında salonun 1000 Hz' deki ortalama D50 değerleri görülmektedir. Salon 1 ve salon 2 birbirlerine yakın değerlere sahiptir, ama ortalamada fan salon, elmas salondan biraz daha yüksek değere sahiptir.



Şekil 5: Salonların 1000 Hz' deki ortalama D50 değerleri

3.3. LF80 (Yanal Yansımalar)

LF80 parametresi direkt sesten sonraki ilk 80 ms içinde hacmin yan yüzeylerinden ulaşan enerjinin direkt sesten sonraki ilk 80 ms içinde ulaşan toplam ses enerjisine oranını ifade etmektedir ve salonun yan duvarlarının oluşturduğu hacim geometrisine bağlıdır [**6**]. Literatüre göre optimum aralığı 0.05-0.35' tir [**5**].



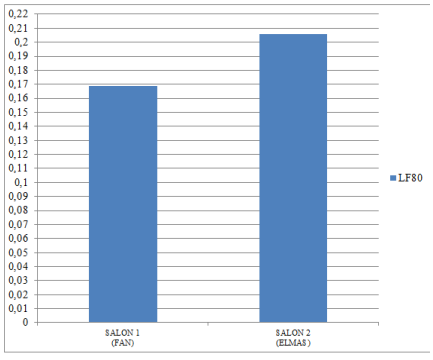
SALON 1 1000 Hz	
alıcı	LF80
1	0,076
2	0,139
3	0,192
4	0,227
5	0,179
6	0,222
7	0,171
8	0,145
9	0,153
10	0,178
11	0,22
12	0,168
13	0,144
14	0,198
15	0,156
16	0,128

SALON 2 1000 Hz	
alıcı	LF80
1	0,074
2	0,112
3	0,169
4	0,246
5	0,188
6	0,247
7	0,195
8	0,154
9	0,143
10	0,191
11	0,271
12	0,236
13	0,236
14	0,286
15	0,289
16	0,287
17	0,185

Şekil 6: Salonlar için alıcılara göre LF80 değerleri

Salonlardaki bütün alıcıların değerleri istenilen aralıktadır, ancak alıcı değerleri salonlar göre bazı farklılıklar göstermektedir. Bu bağlamda salonların değerleri karşılaştırıldığında alıcı 8 ve 16 irdelenmiştir. Alıcı - kaynak etkileşimine bakıldığında; alıcı 8 için, fan salonun orta akstaki alıcılardaki enerjinin düşük olmasından kaynaklandığından, alıcı 16 için de elmas salonun kırılan yan duvar katkısından dolayı her iki alıcı için de elmas salon yani salon 2 değerleri daha yüksektir.

Ayrıca salonların 1000 Hz' deki ortalama LF80 değerlerini gösteren **Şekil 7**' ye bakıldığında düşük değerler fan salona aittir. Elmas salon, belirtilen sebepten fan salondan daha yüksek LF80 değerine sahiptir.

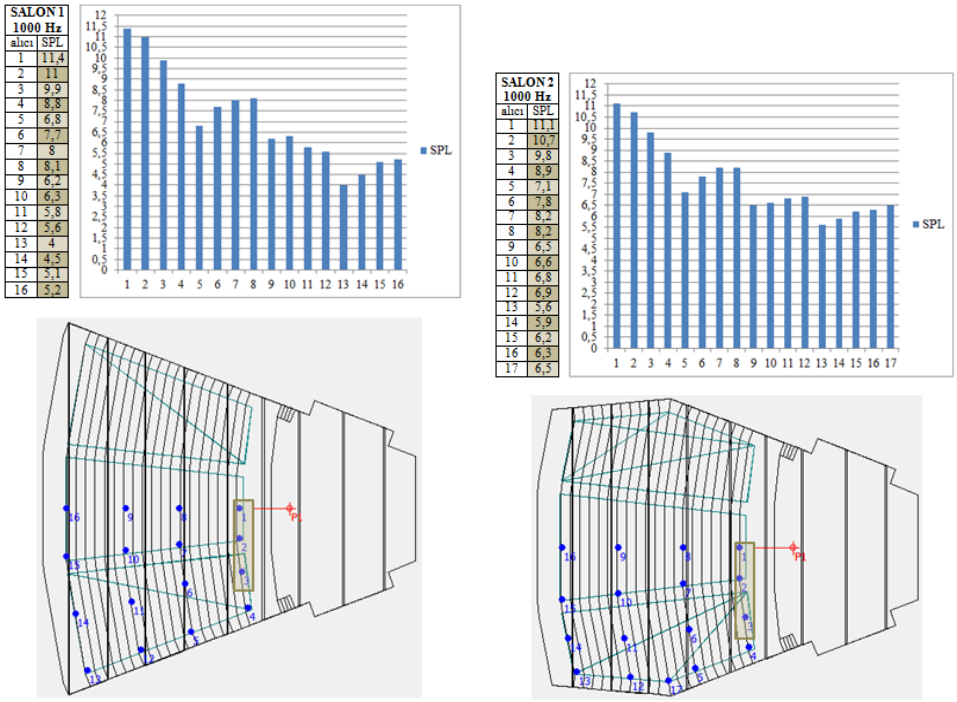


Şekil 7: Salonların 1000 Hz' deki ortalama LF80 değerleri

3.4. G (SPL, Ses Yüksekliği)

Yansımasız bir hacimde kaynaktan 10 m mesafede ölçülen direkt sesin düzeyidir. Ses yüksekliği direkt ses gücü ve çınlayan sesin gücünden oluşur [**7**]. G parametresini; dinleyicinin sahneye olan

uzaklığı, dinleyici alanına erken ses enerjisini yansıtacak yüzeyler, hacmin büyüklüğü ve orta frekanslardaki çınlama süresi etkiler. Salon arkasına doğru ses yüksekliği, G, azalacaktır, yani salon derinliği arttıkça G azalımı da artar. Tavan ve duvarlar dinleyici alanına erken ses enerjisini yansıtacak şekilde düzenlenirse bu azalım engellenir. Yayılım alan teorisine göre G' nin beklenen değeri EDT aynı zamanda da T' nin bir fonksiyonu haline gelir, [**3**] ses yüksekliği salon hacmiyle ters orantılıdır, T veya EDT ile doğru orantılıdır [**6**]. Literatürde önerilen optimum G değeri -2 ile 10 aralığıdır [**5**].

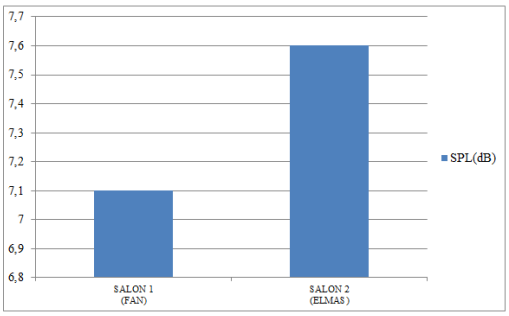


Şekil 8: Salonlar için alıcılara göre G değerleri

Salonlarda 1000 Hz' de alıcıların G (SPL) değerlerine bakılacak olursa; Alıcı 1, 2 ve 3 dışındaki diğer alıcılar belirtilen aralıktadır. Alıcı - kaynak etkileşimine bakıldığında alıcı 1, 2 ve 3 kaynağa daha yakın oldukları için G değerleri de diğer alıcılara göre daha yüksek değerlere sahiptir. Diğer alıcılar da belirtilen aralıktadır, ancak salonlardaki alıcılar kıyaslanacak olursa; arka sıradaki alıcılar bütün salonlarda belirtilen aralıkta ama farklı değerlere sahiptir. Bu da G değerinde alıcı - kaynak arası mesafenin etkisini ortaya koymaktadır. Salonların genelinde G değeri azalımı arkaya doğru gidildikçe daha da artmaktadır. Arkadaki alıcılarda yüksek değerler yan duvar yansımalarının katkısından dolayı elmas salonda, fan salonda ise daha düşük değerler görülmektedir. Yani salonların geometrisindeki farklılıklar G parametresinde de farklılıklara sebep olmuştur denebilir.

Salonlardaki alıcı 4 irdelendiğinde ise; bulundukları yer salonda aynı olmasına rağmen; salon 2 verimli yan duvar yansımaları sağladığından biraz daha yüksek G değerine sahiptir.

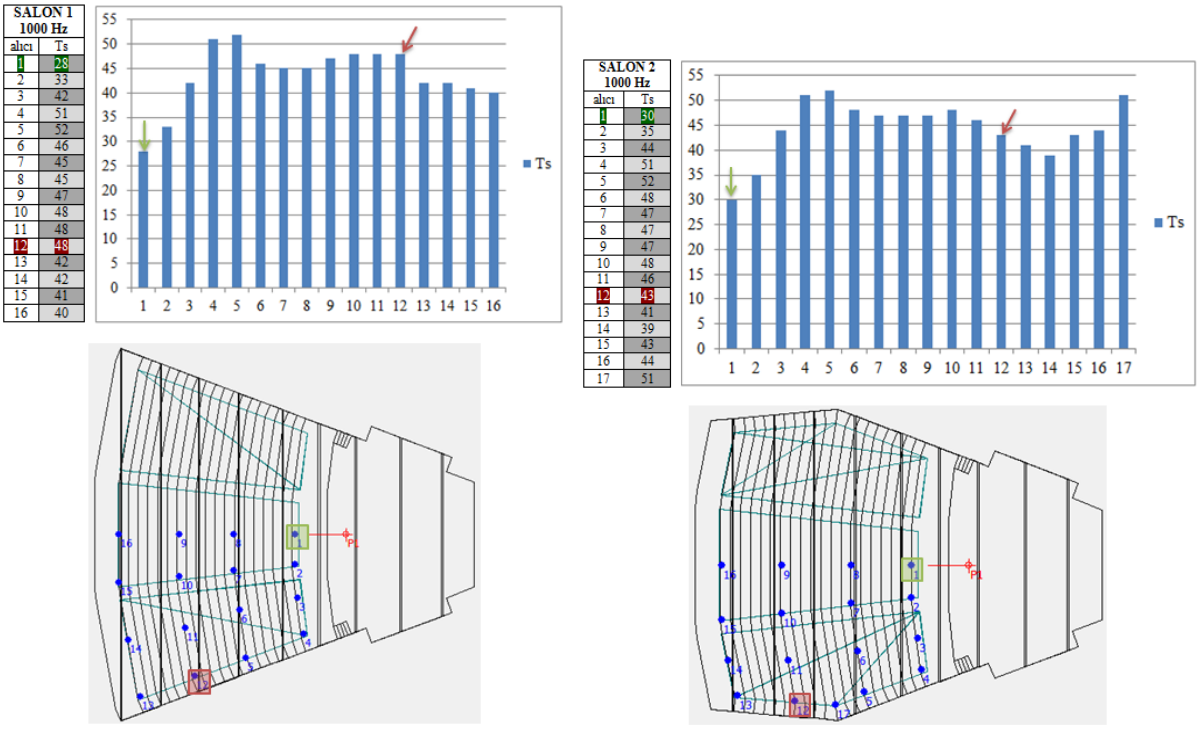
Salonların ortalama 1000 Hz' deki G değerlerini gösteren **Şekil 9'** a bakıldığında salonun ortalamasında düşük değerler salon 1' de görülürken, yüksek değerler salon 2' de ortaya çıkmaktadır. Salon 2 yani elmas salonun verimli yan duvar yansımalarından dolayıdır.



Şekil 9: Salonların 1000 Hz' deki ortalama G değerleri

3.5. Ts (Merkez Zaman)

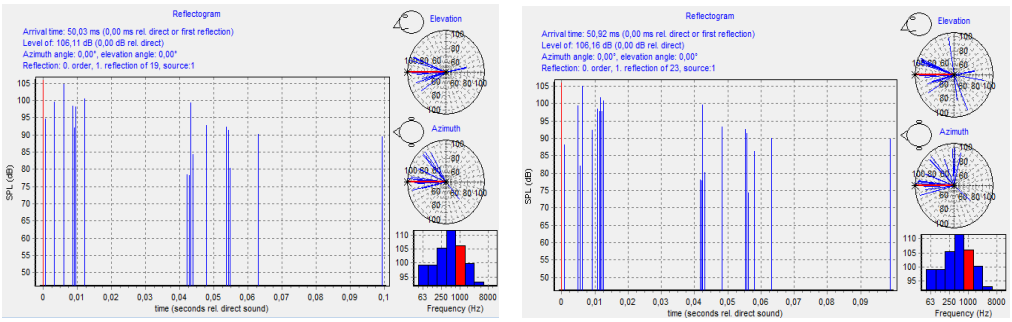
Erken ve geç ses arasındaki denge veya netlik ve çınlama arasındaki dengeyi tanımlamak için kullanılan bir parametredir. Merkez zaman, hacim içinde belli bir noktada elde edilen seslerin erken ya da gecikmiş olduğunu belirlediğinden, belirlilik (D50), netlik (C80) ve ilk düşme süresi (EDT) ile ilişkilidir. Merkez süresinin (Ts) düşük olması, erken ses enerjisinin fazla olduğunu göstermektedir ve bu değer düştükçe sesin netliği artmaktadır. Ts' nin fazla olması durumunda ise geç enerji fazladır ve çınlama artmaktadır.



Şekil 10: Salonlar için alıcılara göre Ts değerleri

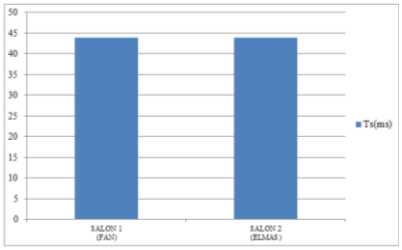
Salonların genelinde Ts değeri alt sınırın da altındadır, sadece bir kaç alıcıda alt sınırın biraz üstüne çıkmıştır. Alıcı - kaynak etkileşimine bakıldığında; alıcı 1, alıcı 12 ele alınmıştır.
Alıcı 1 için en düşük Ts değeri alıcı 1 içidir. Ts' nin tanımından yola çıkarak ilk 50 ms' deki yansımalar ile 50 ms' den sonraki yansımalar ele alınarak yorumlanmıştır. Yansımalara bakıldığında salon 2 yan duvarların açılı etkisinden dolayı daha iyi değer verir. Salon 1' de fan

salonda orta akstaki alıcıların yan duvarlardan beslenememesinden kaynaklanan, düşük Ts değerleri söz konusudur.
Alıcı - kaynak etkileşimine bakıldığında; Ts değerleri yorumlanacak olursa; salonların değerleri karşılaştırıldığında elmas salonun değerleri daha düşüktür, çünkü 50 ms' den sonraki yansımalar daha fazladır. Bu nedenle düşük değeri salon 2 vermektedir.



Şekil 11: Salonlar için alıcı 12 enerji diyagramı

Salonun geneline bakıldığında ise yine genel değerlerde de alıcılardaki gibi sonuçlar söz konusudur. Fan salonun orta akstaki alıcıların yan duvarlardan beslenememesi ve elmas salondaki gecikmiş yansımalar nedeniyle salonların genelinde Ts değerleri düşüktür. Ortalama değerleri birbirine çok yakındır.



Şekil 12: Salonların 1000 Hz' deki ortalama Ts değerleri

4. SONUÇLAR

Salonlar tasarlanırken, mimari tasarımın akustik performansı ve konforu etkilediği göz önünde bulundurulmalı, akustik açıdan konuşma anlaşılabilirliğinin sağlanması için geometrik şartlar da optimize edilmeye çalışılmalıdır. Hacimlerdeki geometrik farklılıklar akustik parametrelerde de farklılıklara yol açmaktadır. Hacmin genişliği, uzunluğu, en/boy oranı, hacimde paralel yüzeylerin bulunması, yan duvar katkısı, yan duvarların açısı ve tavan panellerinin şekli; erken yansımaları, yanal yansımaları, gecikmiş yansımaları, toplam ses enerjisini ve dolayısıyla da EDT, T30, D50, LF80, G, Ts gibi konuşma için önemli olan akustik parametrelerin değerlerini etkilemektedir.
Bu çalışmanın sonucu olarak; iki farklı tipteki salonlarda bazı parametrelerin nasıl farklılık gösterdiği değerlendirilmiştir. İç bükey yüzeylerin odaklanmaya sebep olduğu unutulmamalı, iç bükey yüzeyler kullanmaktan kaçınılmalı, ya da saçıcı veya yutucu bir malzeme ile kaplanmalıdır. Fan plan şemalı salonların yan duvar yansımalarının özellikle orta akstaki alıcılar için zayıf olduğu, daha çok tavandan beslendiği unutulmamalı, tavan yansımalarıyla

desteklenmeye çalışılmalıdır. Elmas plan şemalı salonlarda ise kırılan yan duvarların enerji katkısından dolayı artan enerji; malzemelerle ya da diğer yapı elemanlarıyla alınacak tedbirlerle kontrol altında tutulmaya çalışılmalıdır. Çünkü salonlardaki fazla enerji, geciken, devam eden yansımalar demektir ve bu da salonlarda uzun gecikmiş yansımalara, ekoya sebep olabilir.

KAYNAKLAR

1. Prof. Dr. S., Yılmaz, Çevre ve Yapı Akustiği, Birsen Yayınevi, 2007, İstanbul

2. M., Mehta, J., Johnson, and J., Rocafort, Architectural Acoustics
Principles and Design, Prentice Hall, 1999, New Jersey

3. T., D., Rossing, Handbook of Acoustics, 2007, USA

4. H., Kutruff, Room Acoustics, Elsevier Applied Sciences, 1999, London.

5. BS EN ISO 3382-1, Measurement of room acoustic parameters-Part 1: Performance spaces, International Standard, 2009, Switzerland.

6. H., Balcı, Antalya Cam Piramiti'nin Hacim Akustiğinin Bilgisayar Simülasyon Yöntemiyle Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İtü Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007, İstanbul.

7. E. G., Ateş, Kültürel Mirasımız Olan Yerebatan Sarnıcı' nın Akustik Sorunlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007, İstanbul.

TS EN 12354-1 ve TS EN ISO 140-4 STANDARTLARININ KARŞILAŞTIRILMASI: İSTANBUL'DA BİR KONUT ÖRNEĞİ

Y.Mimar Hüsnü Çay[a]
Prof.Dr. Sevtap Yılmaz[b]
Araş.Gör. Mine Aşcıgil Dincer[c]
İTÜ Mimarlık Fakültesi
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

ÖZET

Bu çalışmada, İstanbul Kadıköy'de bulunan konut binasının ikinci katında yer alan, yan yana yerleşmiş, birbirinden bir iç duvar ile ayrılan ve salon olarak kullanılan iki mekânı ayıran bölücü tuğla duvarın hava doğuşlu ses yalıtımı, ilgili yönetmelikte tanımlanan TS EN 12354-1 ve TS EN ISO 140-4 standardları doğrultusunda incelenmiştir. TS EN 12354-1 standardı hesaplama modelini tanımlarken, TS EN ISO 140-4 standardı da alan ölçüm yöntemini kapsamaktadır. Hesaplama ve ölçüm sonuçları analiz edildiğinde 1/1 oktav bantlarda, alçak frekanslarda saha ölçüm sonuçlarının hesaplama sonuçlarından daha yüksek, orta ve yüksek frekanslarda ise hesaplama sonuçlarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Elde edilen veriler TS EN ISO 717-1 standardı doğrultusunda tek sayıya dönüştürülüp karşılaştırıldığında ise hesaplama modelinin 3 dB daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak elde edilen veriler doğrultusunda teorik yöntem ile alan ölçüm yönteminin karşılaştırılması yapılarak bu farkın oluşmasına neden olacak etmenler ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Anahtar sözcükler: Hava Doğuşlu Ses Yalıtımı, TS EN 12354-1, TS EN ISO 140-4, TS EN ISO 717-1

ABSTRACT

COMPARISION OF TS EN 12354-1 AND TS EN ISO 140-4 STANDARDS
In this study, airborne sound insulation of a separating wall which is placed between two living rooms of in an apartment building in Istanbul, Kadikoy is investigated by using TS EN 12354-1 and TS EN ISO 140-4 standards. TS EN 12354-1 standard describes calculation model designed to estimate the airborne sound insulation between rooms in buildings, using direct or indirect flanking transmission by the participating building elements. TS EN ISO 140-4, standard specifies field methods for measuring the airborne sound insulation properties of interior walls, floors and doors between two rooms. The calculation method and filed measurement results show in the low frequencies field measurement data is higher, at the middle and high frequencies the calculation method data is higher than measurement data. When the result datum's are converted into a single number according to TS EN ISO 717-1, the calculation method becomes 3dB higher than the field measurements. In conclusion the main goal is to analyze the effects that cause the difference between theoretical method and field measurement.

Key words: Airborne Sound Insulation, TS EN 12354-1, TS EN ISO 140-4, TS EN ISO 717-1

[a] e-posta adresi: husnucay@hotmail.com
[b] e-posta adresi: demirkale@itu.edu.tr
[c] e-posta adresi: mineascigil@gmail.com

1.GİRİŞ

Ülkemizde yapıların akustik performansına ilişkin sınırlayıcı değer olarak Çevre ve Orman Bakanlığı'nın yayımladığı "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği" uygulanmaktadır. İlgili yönetmeliğin Ek 2 Bölüm 4'e göre gürültüye hassas yapıların, inşaat izni ve yapı kullanım izni safhalarında, aynı yönetmelikte getirilen iç ortam gürültü seviyesi sınır değerini sağlayacak şekilde mekânları çeviren yapı elemanlarının (duvar, döşeme, tavan, merdiven evi ve diğer) ses yalıtımının belirlenmesi gerekmektedir. Uygulanacak ses azaltımının hesaplanmasında TS EN 12354 "Binaların Akustiği- Binaların Akustik Performansının Elemanların Performansından Hesaplanması" standard serisinden veya TS EN ISO 140 "Akustik - Yapılarda ve Yapı Elemanlarında Ses Yalıtımının Ölçülmesi" standard serisinden yararlanılmaktadır. **[1]**

Bu çalışma kapsamında ilgili yönetmelikte belirtilen TS EN 12354-1 ve TS EN ISO 140-4 standardları, İstanbul Kadıköy'de bulunan bir konut binasının ikinci katında yer alan, yan yana yerleşmiş, birbirinden bir iç duvar ile ayrılan ve salon olarak kullanılan iki mekan kapsamında uygulanmış olup elde edilen veriler TS 2381-1 EN ISO 717-1 standardında tanımlandığı şekilde tek sayılı derecelendirmeye çevrilerek sonuç verileri karşılaştırılarak teorik yöntem ile alan ölçüm yöntemi arasında ne derece sapma olduğu ortaya konulmaya çalışılmıştır.

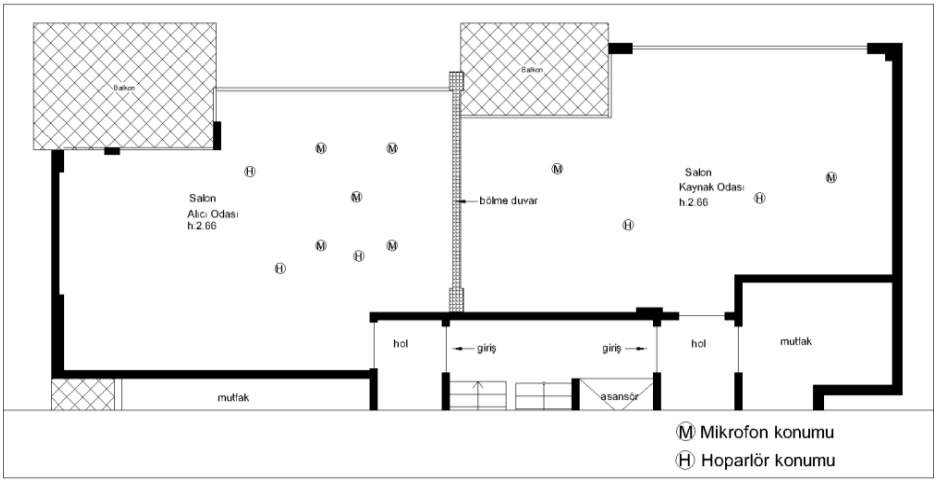
2. HESAPLAMA MODELİ

2.1. Mevcut Sahanın Tanıtılması

Seçilen örnek İstanbul, Kadıköy Moda'da yer almakta ve saha mesken olarak kullanılmaktadır. Bina betonarme karkas sistemde inşa edilmiş olup, konut 5 katlı binanın 2.katında yer almaktadır. Kaynak oda ve alıcı oda arasındaki bölme duvar, tuğla duvardır. Konutta yer alan ve değerlendirmeye alınan yapı elemanları detayları **Çizelge 1**'de, sahanın yerleşim planı **Şekil 1**'de verilmiştir.

Çizelge 1: Mevcut saha yapı elemanları **[2]**

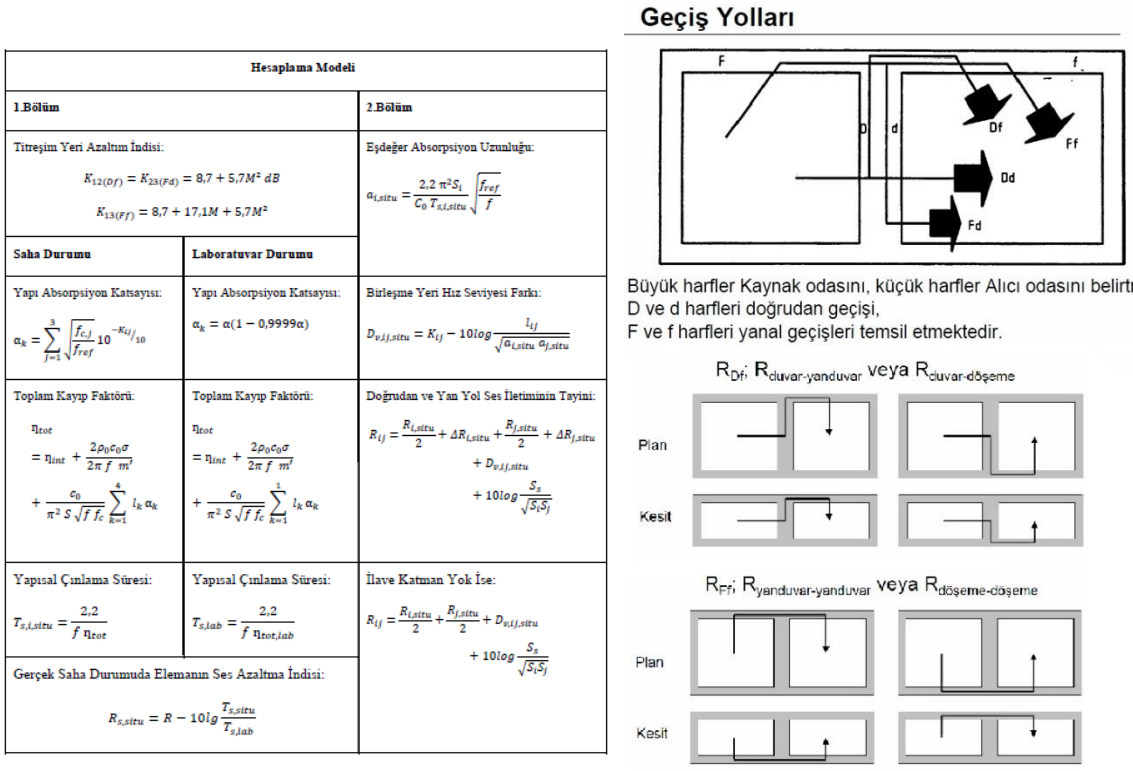
Yapı Elemeanı	*Bölme Duvar*	*Döşeme*	*İç Duvar*	*Cephe*	*Tavan*
Malzeme	Tuğla	Beton	Tuğla	Cam	Beton
En	4,33m	14,00m	9,16m	9,88m	14,00m
Boy	2,66 m	2,66 m	2,66 m	2,66 m	2,66 m
S (alan)	11,5m^2	36,8 m^2	26,2 m^2	26,2 m^2	36,8 m^2
T (kalınlık)	0,2m	0,15m	0,1m	0,04m	0,15m
m' (birim alan kütlesi)	160 kg/m^2	kg/m^2	kg/m^2	kg/m^2	kg/m^2
η_{int} *(iç kayıp faktörü)*	0,0015	0,02	0,015	0,0015	0,02
C_L*(Boyuna Dalga Hızı)*	3800 m/s	2960 m/s	3800 m/s	5450 m/s	2960 m/s
fc (Kritik Frekans)	87 Hz	Hz	Hz	Hz	Hz



Şekil 1: Saha yerleşim planı **[2]**

2.2. TS EN 12354-1 Standardının Uygulanması

TS EN 12354-1, "Yapı Akustiği - Yapıların Akustik Performansının Elemanların Performanslarından Hesaplanması - Bölüm 1: Odalar Arasında Hava İle Yayılan Sesin Yalıtımı" standardı, binalarda odalar arası hava doğuşlu sesin yalıtımını, yanal iletimleri de hesaba katarak belirleyen, teorik hesaplama yöntemini içermektedir. **[3]**



Hesaplama Modeli

1.Bölüm		**2.Bölüm**
Titreşim Yeri Azaltım İndisi: $K_{12(Df)} = K_{23(Fd)} = 8,7 + 5,7M^2\ dB$ $K_{13(Ff)} = 8,7 + 17,1M + 5,7M^2$		Eşdeğer Absorpsiyon Uzunluğu: $a_{i,situ} = \frac{2,2\ \pi^2 S_i}{c_0\ T_{s,i,situ}} \sqrt{\frac{f_{ref}}{f}}$
Saha Durumu	**Laboratuvar Durumu**	
Yapı Absorpsiyon Katsayısı: $\alpha_k = \sum_{j=1}^{3} \sqrt{\frac{f_{c,j}}{f_{ref}}}\ 10^{-K_{kj}/10}$	Yapı Absorpsiyon Katsayısı: $\alpha_k = \alpha(1 - 0{,}9999\alpha)$	Birleşme Yeri Hız Seviyesi Farkı: $D_{v,ij,situ} = K_{ij} - 10log\frac{l_{ij}}{\sqrt{a_{i,situ}\ a_{j,situ}}}$
Toplam Kayıp Faktörü: $\eta_{tot} = \eta_{int} + \frac{2\rho_0 c_0 \sigma}{2\pi f\ m'} + \frac{c_0}{\pi^2 S \sqrt{f f_c}} \sum_{k=1}^{4} l_k \alpha_k$	Toplam Kayıp Faktörü: $\eta_{tot} = \eta_{int} + \frac{2\rho_0 c_0 \sigma}{2\pi f\ m'} + \frac{c_0}{\pi^2 S \sqrt{f f_c}} \sum_{k=1}^{3} l_k \alpha_k$	Doğrudan ve Yan Yol Ses İletiminin Tayini: $R_{ij} = \frac{R_{i,situ}}{2} + \Delta R_{i,situ} + \frac{R_{j,situ}}{2} + \Delta R_{j,situ} + D_{v,ij,situ} + 10log\frac{S_s}{\sqrt{S_i S_j}}$
Yapısal Çınlama Süresi: $T_{s,i,situ} = \frac{2{,}2}{f\ \eta_{tot}}$	Yapısal Çınlama Süresi: $T_{s,lab} = \frac{2{,}2}{f\ \eta_{tot,lab}}$	İlave Katman Yok İse: $R_{ij} = \frac{R_{i,situ}}{2} + \frac{R_{j,situ}}{2} + D_{v,ij,situ} + 10log\frac{S_s}{\sqrt{S_i S_j}}$
Gerçek Saha Durumuda Elemanın Ses Azaltma İndisi: $R_{s,situ} = R - 10lg\frac{T_{s,situ}}{T_{s,lab}}$		

Şekil 2: Detaylı hesaplama modeli & geçiş yolları **[2]**

Bu bölümde TS EN 12354-1 standardında takip edilen hesaplama modeli incelenmiştir. Bu standartta beş farklı geçiş yolu bulunmakta olup bunlar bölme elemanı ve dört yanal yol olarak tanımlanmıştır. Bölme eleman için hesaplama modelinin sadece ilk bölümü uygulanırken yanal yollar için ise hem birinci bölüm hem de ikinci bölüm uygulanmıştır. Detaylı hesaplama modeli ve geçiş yolları **Şekil 2**'de sunulmuştur. Hesaplama modelinde yer alan formül detayları aşağıda verilmiştir.

Titreşim yeri azaltım indisi, K_{ij}

$$K_{13(Ff)} = 5{,}7 + 14{,}1M + 5{,}7M^2$$
$$K_{12(Df)} = K_{23(Fd)} = 5{,}7 + 5{,}7M^2\ dB \quad (1)$$
$$M = \lg \frac{m'_{\perp i}}{m'_i}$$

Burada;
m_i : İletim yolu ij üzerindeki i elemanının, kilogram/metrekare cinsinden birim alanının kütlesi,
$m_{\perp i}$: Birleşme yerini oluşturan elemana dik olan diğer elemanın kilogram/metrekare cinsinden birim alanının kütlesidir.

Yapı absorpsiyon katsayısı hesabı, α_κ

$$\alpha_k = \sum_{j=1}^{3} \sqrt{\frac{f_{c,j}}{f_{ref}}}\, 10^{-K_{ij}/10} \quad (2)$$

Burada;
f_c : Hertz cinsinden kritik frekans,
f_{ref} : Referans frekans; fref= 1000 Hz,
K_{ij} : Titreşim yeri azaltım indisidir.

Toplam kayıp faktörü, η_{tot}

$$\eta_{tot} = \eta_{int} + \frac{2\rho_0 c_0 \sigma}{2\pi f\ m'} + \frac{c_0}{\pi^2 S \sqrt{f f_c}} \sum_{k=1}^{4} l_k \alpha_k \quad (3)$$

Burada;
η_{tot} : Toplam kayıp faktörü,
f : Hertz cinsinden, bant merkez frekansı,
η_{int} : Malzemenin iç kayıp faktörü,
m ' : Kilogram/metrekare cinsinden, birim alanın kütlesi,
σ : Serbest kırılan dalgalar için yayılma faktörü,
f_c : Hertz cinsinden kritik frekans,
S : Metrekare cinsinden elemanın alanı,
σ_k : k çevresinde kırılan dalganın absorpsiyon katsayısı,
l_k : Metre cinsinden, k çevresinin birleşme yerindeki uzunluğu,
c_0 : Metre/saniye cinsinden sesin havadaki hızı; c0 = 340 m/s,
ρ_0 : Kilogram/metreküp cinsinden, havanın yoğunluğudur.

Yapısal çınlama süresi, T_s

$$T_{s,i} = \frac{2{,}2}{f\ \eta_{tot}} \quad (4)$$

Burada;

η_{tot} : Toplam kayıp faktörü,
f : Hertz cinsinden, bant merkez frekansıdır.

Gerçek saha durumunda elemanın ses azaltma indisi, $R_{s,situ}$

$$R_{s,situ} = R - 10lg\frac{T_{s,situ}}{T_{s,lab}} \quad (5)$$

Burada;
R : Elemanın ses azaltma indisi,
$T_{s,situ}$: Gerçek saha durumunda saniye cinsinden yapısal çınlama süresi,
$T_{s,lab}$: Laboratuar durumunda saniye cinsinden yapısal çınlama süresidir.

Eş değer absorpsiyon uzunluğu $a_{i,situ}$

$$a_{i,situ} = \frac{2{,}2\ \pi^2 S_i}{c_0\ T_{s,i,situ}}\sqrt{\frac{f_{ref}}{f}} \quad (6)$$

Burada;
$a_{i,situ}$: Gerçek saha durumunda, i elemanının eş değer absorpsiyon uzunluğu (metre),
$a_{j,situ}$: Gerçek saha durumunda, j elemanının eş değer absorpsiyon uzunluğu (metre),
f : Hertz cinsinden merkez bant frekansı,
f_{ref} : Referans frekans; fref= 1000 Hz,
c_0 : Sesin havadaki metre/saniye cinsinden hızı,
l_{ij} : i ve j elemanları arasında, metre cinsinden ortak birleşme yerinin kavrama uzunluğu,
S_i : i elemanının metre kare cinsinden alanı,
S_j : j elemanının metre kare cinsinden alanı,
$T_{s,i,situ}$: Gerçek saha durumunda i elemanının saniye cinsinden yapısal çınlama süresi,
$T_{s,j,situ}$: Gerçek saha durumunda j elemanının saniye cinsinden yapısal çınlama süresidir.

Birleşim yeri hız seviye farkı, $D_{v,i}$

$$D_{v,ij,situ} = K_{ij} - 10log\frac{l_{ij}}{\sqrt{a_{i,situ}\ a_{j,situ}}} \quad (7)$$

Burada;
$a_{i,situ}$: Gerçek saha durumunda, metre cinsinden i elemanının eş değer absorpsiyon uzunluğu,
$a_{j,situ}$:Gerçek saha durumunda, metre cinsinden j elemanının eş değer absorpsiyon uzunluğu,
l_{ij} : i ve j elemanları arasında, metre cinsinden ortak birleşme yerinin kavrama uzunluğu,
K_{ij} : i ve j elemanları arasında, titreşim azaltma indisidir.

Yerinde doğrudan ve yan yol ses iletiminin tayini, R_{ij}

$$R_{ij} = \frac{R_{i,situ}}{2} + \Delta R_{i,situ} + \frac{R_{j,situ}}{2} + \Delta R_{j,situ} + D_{v,ij,situ} + 10log\frac{S_S}{\sqrt{S_i S_j}} \quad (8)$$

Burada;
$R_{i,situ}$; Gerçek saha durumunda i elemanın ses azaltma indisi,
$\Delta R_{i,situ}$; Gerçek saha durumunda i elemanı için ilâve katmanların sağladığı ses azaltma indisi iyileştirmesi
$R_{j,situ}$; Gerçek saha durumunda j elemanın ses azaltma indisi,
$\Delta R_{j,situ}$; Gerçek saha durumunda j elemanı için ilâve katmanların sağladığı ses azaltma indisi iyileştirmesi
$D_{v,ij,situ}$: Gerçek saha durumunda i ve j elemanları arasında yöne göre ortalama alınmış
birleşme yerinin seviye farkı
S_s: Bölme elemanının alanı
S_i: Algılama odasındaki (i) elemanın alanı
S_j: Algılama odasındaki (j) elemanın alanıdır.

2.3. Hesaplama sonuçları

Şekil 2'de tanımlanan hesaplama modeli sıralı olarak takip edildiğinde, en son adım olan eşitlik 8'de, geçiş yollarında tanımlanan R_{Dd}, R_{Ff}, R_{Df} ve R_{Ff} değerleri elde edidi. Yapılan hesapların tamamı Eşitlik 9'da girdi olarak kullanılarak yanal yolların etkisi hesaplandı.

$$R'_w = -10lg\left[10^{\frac{-R_{Dd,w}}{10}} + \sum_{F=f=1}^{n} 10^{\frac{-R_{Ff,w}}{10}} + \sum_{f=1}^{n} 10^{\frac{-R_{Df,w}}{10}} + \sum_{F=1}^{n} 10^{\frac{-R_{Fd,w}}{10}}\right] \quad (9)$$

Burada;
R_{Dd}: Bölme elemanının sağladığı ağırlıklı ses azaltma indisi
RFf: F yan yol elemanının sağladığı ağırlıklı ses azaltma indisi
R_{Df}: Bölme elemanı ile algılama odasındaki f yan yol elemanının sağladığı ağırlıklı ses azaltma indisi
R_{Fd}: Yan yol elemanı ile algılama odasındaki d bölme elemanının sağladığı ağırlıklı ses azaltma indisidir.

1/1 oktav bantlarda elde edilen hesaplama sonuç detayları **Çizelge 2**'de sunulmuştur.

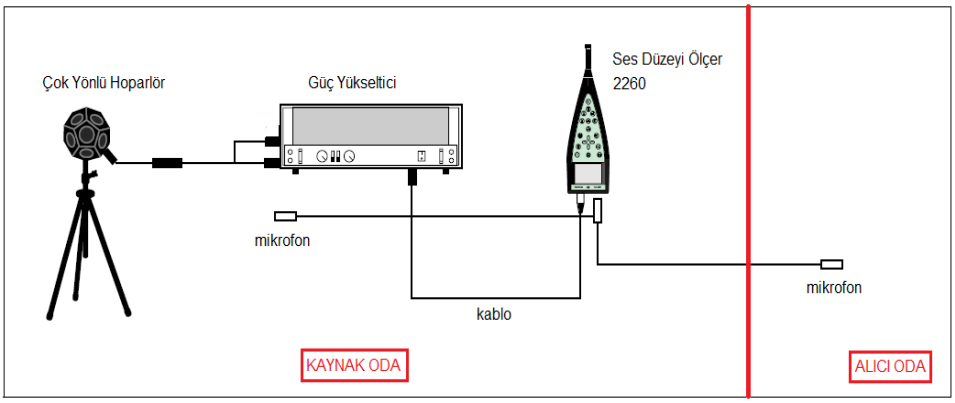
Çizelge 2: Hesaplama modeli sonuçları **[2]**

Yapı Elemeanı	*125Hz*	*250Hz*	*500Hz*	*1000Hz*	*2000Hz*	*R'w*
R_{Dd}	37,33	36,65	45,44	53,79	62,04	49
R_{F1d} (F_1:Döşeme)	54,50	55,56	64,82	73,56	81,65	67
R_{F2d} (F_2:İç Duvar)	56,79	51,85	61,10	69,53	77,27	64
R_{F3d} (F_3:Cephe)	54,05	55,97	54,90	67,71	75,69	63
R_{F4d} (F_4:Tavan)	54,61	54,71	63,89	72,57	80,62	67
R_{Dd}	37,33	36,65	45,44	53,79	62,04	49
R'_w	37,03	36,35	44,77	53,41	61,64	49
TS EN ISO 717-1'e göre R'_w (C, C_{tr}) = 49 (-1 ; -5) dB						

3. ALAN ÖLÇÜMÜ

TS EN ISO 140-4 standardı "Akustik - Yapılarda ve Yapı Elemanlarında Ses Yalıtımının Ölçülmesi - Bölüm 4: Odalar Arasında Hava ile Yayılan Sesin Yalıtımına ait Alan Ölçmeleri" standardı, iki oda için aralarındaki duvarların, zeminlerin, tavanların ve kapıların hava ile yayılan sesin yalıtım özelliklerinin ölçülmesi için alanda ölçüm gerçekleştirme yöntemini kapsar. **[4]**

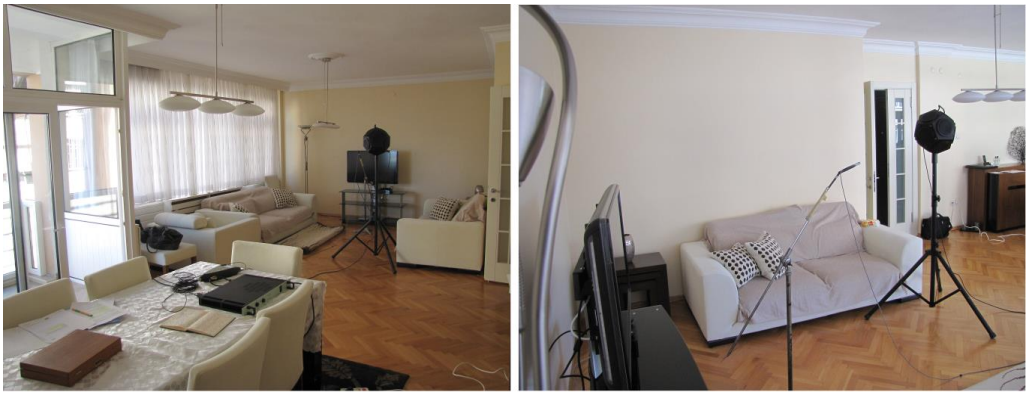
Alan ölçümü, TS EN ISO 140-4 standardında tanımlanan sınırlayıcı değerlere uygun olarak, sınıf 1, Brüel &Kjær marka aletler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sırasında uygulanan alet yerleşim diyagramı **Şekil 3**'te gösterilmiştir. **Şekil 4** ve **Şekil 5**'te, alan ölçümü yapılan binanın cephesinin, kaynak ve alıcı odalarının fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 3: Kullanılan alet yerleşim diagramı **[2]**



Şekil 4: Alan ölçümü (cephe & alıcı odası) **[2]**



Şekil 5: Alan ölçümü (kaynak odası) **[2]**

Elde edilen ölçüm sonuçları Eşitlik 10'na bağlı olarak hesaplandı. Eşitlik 10 aşağıda sunulmuştur;

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \lg (S/A) \quad (10)$$

Burada;

L_1: Kaynak odasındaki ortalama ses basınç seviyesi,
L_2: Alıcı odasındaki ortalama ses basınç seviyesi,
S : Ayırıcı elemanın alanı,
A : Alıcı odasındaki eşdeğer ses absorpsiyon alanıdır.

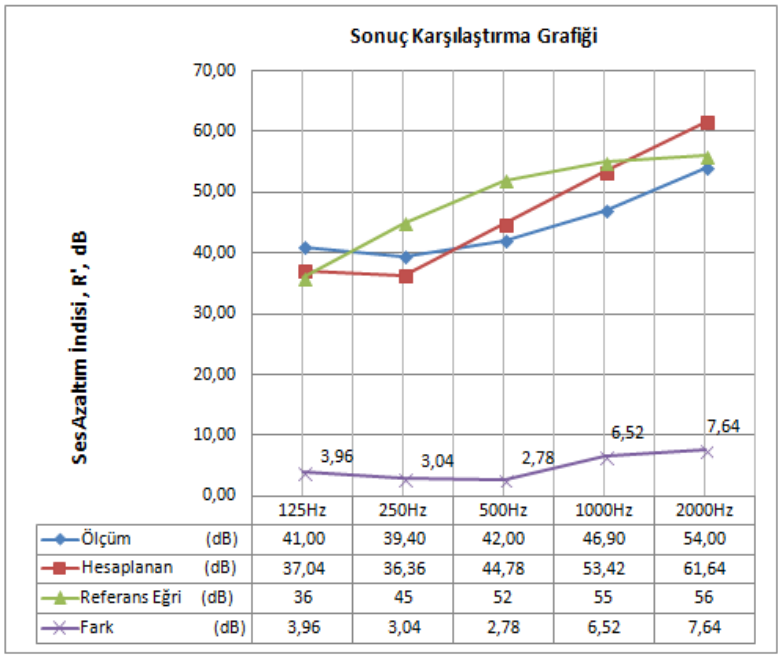
Burada fon gürültüsü düzeltmesi için L_2 (alıcı odasındaki ortalama ses basınç seviyesi) ile B_2 (alıcı odası fon gürültü düzeyi) arasındaki farka bakılmalıdır. Fark 10dB'den fazla olduğuda herhangi bir düzeltme yapılmamıştır. Fark 6 dB'den daha az olduğunda ise 1.3 dB'lik düzeltme uygulanmaktadır. Ölçüm sonuçlarında alçak frekanslarda fark 6dB den düşük çıktığı için 1,3dB lik düzeltme uygulanmış diğer frekanslarda ise herhangi bir düzeltme yapılmamıştır. Elde edilen sonuçlar **Çizelge 3'te** verilmiştir.

Çizelge 3: Ölçüm sonuçları (düzeltme yapılmış) **[2]**

Frekans	*L1*	*L2*	*T2*	*B2*	*A*	*R'*	*L2-B2*	*Düzeltme*	*Düzeltilmiş R'*
100Hz	58	34,8	0,61	33,2	7,9	24,3	1,6	1,3	25,5
125Hz	67,3	34,5	2,37	29,8	2,0	39,8	4,7	1,3	41,0
160Hz	74,6	37,4	2,4	31,5	2,0	44,2	5,9	1,3	45,5
200Hz	76,4	39,2	0,49	34	9,8	37,3	5,2	1,3	38,6
250Hz	80	40	0,42	28,4	11,4	39,4	11,6	0	39,4
315Hz	81,4	40,1	0,32	26,6	15,0	39,5	13,5	0	39,5
400Hz	79,5	41,2	0,33	23,2	14,5	36,7	18	0	36,7
500Hz	80	36,9	0,38	21,2	12,6	42,0	15,7	0	42,0
630Hz	79	35,9	0,36	17,6	13,3	41,9	18,3	0	41,9
800Hz	79,9	35,7	0,36	15,3	13,3	43,0	20,4	0	43,0
1000Hz	80,2	32,5	0,39	18,9	12,3	46,9	13,6	0	46,9
1250Hz	79,1	27,3	0,31	17,1	15,5	49,9	10,2	0	49,9
1600Hz	83,2	29,7	0,35	16,7	13,7	52,1	13	0	52,1
2000Hz	82,3	27,2	0,37	13,7	13,0	54,0	13,5	0	54,0
2500Hz	81,9	25,9	0,38	10,8	12,6	55,0	15,1	0	55,0
3150 Hz	82	24,9	0,35	13,1	13,7	55,7	11,8	0	55,7
TS EN ISO 717-1'e göre R'_w (C, C_{tr}) = 46 (-1 ; -5) dB									

4. SONUÇ

Sonuçlar karşılaştırıldığında alçak frekanslarda ölçüm sonuçlarının daha yüksek değerlere sahip olduğu, yüksek frekanslarda ise tam aksine hesaplama sonuçlarının daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca ölçüm sonucu ile hesaplama sonuçlarının arasındaki fark alçak frekanslarda 3-4 dB aralığında iken yüksek frekanslarda bu fark yaklaşık 8 dB'e kadar çıkmaktadır. Elde edilen farkların frekansa bağlı değerleri **Şekil 6**'da gösterilmiştir



		125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz
Ölçüm	(dB)	41,00	39,40	42,00	46,90	54,00
Hesaplanan	(dB)	37,04	36,36	44,78	53,42	61,64
Referans Eğri	(dB)	36	45	52	55	56
Fark	(dB)	3,96	3,04	2,78	6,52	7,64

Hesaplama :ISO 717-1'e göre R'w (C,C_{tr})=49 (-2 ; -5) dB

Ölçüm :ISO 717-1'e göre R'w (C,C_{tr})=46 (-1 ; -5) dB

Şekil 6: Ölçüm sonucu ile hesaplama sonuç verileri **[2]**

Hesaplama ve ölçüm sonuç değerleri TS EN ISO 717-1'e göre hesaplanarak elde edilen tek sayılı derecelendirmeler karşılaştırıldığında aradaki farkın 3dB olduğu saptanmıştır. **[5]** Teorik yöntem ile alan ölçümü arasında oluşan farkların nedenleri olarak şunlar sıralanabilir;

- TS EN 12354-1 standardında tanımlanan hesaplama modelindeki bazı girdi verileri literatür verilerilerinden faydalanarak elde edilmiş ve ilgili formüllerde yerine koyulmuştur. Fakat bu değerler ile mevcut sahada yer alan yapı elemanlarının özellikleri farklılık gösterebilmektedir. Örnek olarak C_L, boyuna dalga hızı, Barron R. F. (2003) Ek C bölümünden alınarak 3800 m/s olarak kabul edilmiştir. Bu kabulden sonra hesaplama modelinde yer alan kritik frekans hesabı yapılarak prosedür takip edilmiştir. Ayrıca η_int (iç kayıp faktörü) ve m' (birim alan kütlesi) de ilgili tablolardan alınarak formüllerde girdi olarak kullanılan diğer verilerdir. **[6]**

- Mevcut yapının inşaat aşaması sırasında yapılan işçilik hataları nedeniyle ses yalıtım değerlerinde farklılık oluşabilmektedir. Örnek olarak tuğla duvar ile diğer yapı elemanlarının birleşiminde oluşan boşlukların tam olarak kapatılamaması ve bu bağlantı yerlerinde zayıf noktaların oluşması ya da tuğla duvarın yamukluğunun giderilmesi sırasında kullanılan sıva miktarının duvarın her yüzeyinde eşit olmaması gibi işçiliğe bağlı etmenler sebep olabilmektedir.

Sonuç olarak; mevcut sahanın ses yalıtım değerlerini TS EN ISO 140-4 standardına bağlı yapılan alan ölçüm sonuçları olarak kabul etmek daha doğrudur. Bununla birlikte TS EN 12354-1 standardında tanımlanan hesaplama modeli de proje aşamasında uygulanarak ses yalıtım indeksinin yeterliliğinin

analizi, seçilen yapı malzemelerin uygunluğu gibi temel kararların tasarım aşamasında değerlendirilerek ilgili yönetmelikte istenilen akustik kriterlerin karşılanması sağlanabilir. Böylece inşaat tamamlandıktan sonra yapılması gerekli olabilecek tüm tadilatların, masrafların proje safhasında engellenmesi sağlanarak inşaat süresinin uzamasına ve bütçenin artmasına engel olmak mümkün olabilir.

KAYNAKLAR

1. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2010). Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği.

2. Çay, H. (2014). TS EN 12354-1 ve TS EN ISO 140-4 Standardlarının Karşılaştırılması: İstanbul'da bir konut örneği. *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü, İstanbul

3. TS EN 12354-1. (2006). Yapı Akustiği – Yapıların Akustik Performasının Elemanların Performanslarından Hesaplanması - Bölüm 1: Odalar Arasında Hava ile Yayılan Sesin Yalıtımı, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.

4. TS EN 140-4. (2006). Akustik – Yapılarda Ve Yapi Elemanlarinda Ses Yalıtımının Ölçülmesi – Bölüm 4: Odalar Arasinda Hava İle Yayılan Sesin Yalıtımınına Ait Alan Ölçmeleri, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.

5. TS 2381-1 EN ISO 717-1. (2005). Akustik - Yapılarda Ve Yapı Elemanlarında Ses Yalıtımının Değerlendirilmesi - Bölüm 1: Hava İle Yayılan Sesin Yalıtımı, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.

6. Barron, R. F. (2003). *Industrial Noise Control and Acoustics (2nd Edition).* Newyork: Spon Press.

SES YALITIM PERFORMANSININ TAHMİN EDİLMESİ KONUSUNDA GELİŞTİRİLEN SİMULASYON ARAÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bilge Şan[a]
İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
Ayazağa, Maslak, İstanbul, 34496

ÖZET

Mekanlarda akustik konforun ve kabul edilebilir arka plan gürültü düzeyinin sağlanması konusunda yapı elemanlarının ses yalıtım performansının tahmin edilmesi önemli bir rol oynamaktadır. Bu konuda yıllar içerisinde birçok farklı teorik yaklaşımlar, teknikler, hesaplama yöntemleri ve standartlar geliştirilmiştir. Standartların büyük bölümü yalıtım ölçüm tekniklerini açıklamakta ve sürekli yenilenmektedir. Çok sayıda ülkede ses yalıtımı konusunda yasal dokümanlar da bulunmaktadır.

Bu yaklaşımlara paralel olarak çeşitli detay düzeylerinde yapı elemanlarının ses yalıtım performansının değerlendirilmesine olanak sağlayan bilgisayar tabanlı programlar (simulasyon araçları) da geliştirilmiştir.

Çalışma kapsamında, en yaygın olarak kullanılan ve ses yalıtım performansını tahmin eden yedi simulasyon aracının içerikleri ilgili bilgi verilmekte ve genel özellikleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir.

Böylelikle, tasarımcıları bilgilendirerek en uygun simulasyon aracının seçilmesi ve bu araçların kullanımının bina tasarımı veya iyileştirilmesi süreçlerinin erken evrelerinden itibaren uygulamaya dahil edilmesinin sağlanması amaçlanmaktadır.

Anahtar sözcükler: Akustik, Ses Yalıtımı, Simulasyon Araçları

ABSTRACT

Estimating sound insulation performance of building elements plays an important role in providing acoustic comfort and acceptable background noise levels in spaces. On this issue, many different theoretical approaches, techniques, calculation methods and standards have been developed over the years. The majority of the standards are explaining insulation measurement techniques and these standards are being improved constantly. In many countries there are legal documents regarding sound insulation as well.

Parallel to this approaches, computer-based programs (simulation tools) have been developed that allow evaluating the sound insulation performance of building elements at various levels of detail

In the scope of the study, general information is given about the contents of the most commonly used seven simulation tools that predict sound insulation performance and their general characteristics are comparatively evaluated.

Thus, it is intended to inform designers in selecting the most appropriate simulation tool and to provide inclusion of these tools in applications from the early stages of the building design or improvement process

Key words: Acoustic, Sound Insulation, Simulation Tools

[a] e-posta adresi: bilgesan@gmail.com

1.GİRİŞ

Hızlı nüfus artışı, kentleşme gibi nedenlerle daha konforlu iç ortamlara olan talep her geçen gün artmakta, yeni binaların yüksek performanslı tasarlanması, mevcut binaların ise performanslarının iyileştirilmesi konusundaki çalışmalar gittikçe artan bir önem kazanmaktadır. Kullanıcıların akustik konforunun sağlanmasında ise öncelikli olarak fizyolojik-psikolojik rahatsızlıklara yol açma gibi bir çok olumsuz etkisi bilimsel çalışmalarla ortaya konulan "gürültü"nün ortadan kaldırılması gerekmektedir. Gürültüye ilişkin sınırlamalar uzun yıllardan beri bir çok ülkenin standart ve yönetmeliklerinde tanımlanmış durumdadır **[1].** Ülkemizde yerleşim bölge tipine göre dış gürültü açısından izin verilebilecek gürültü düzeyleri ile mekânlarda kullanım amacına bağlı olarak kabul edilebilir iç ortam gürültü düzeyleri Çevre ve Orman Bakanlığı'nın yayınladığı 4 Haziran 2010 tarihli "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'nde yer almaktadır **[2].**

Gürültünün istenmeyen etkilerinden yaşanılan mekanların korunması ve yönetmelikte tanımlanan düzeylerin sağlanması için yapı elemanlarında ses yalıtımı uygulamalarının gerçekleştirilmesi öncelikli olarak ele alınması gereken bir konudur. Hava doğuşlu ve darbe sesinin yalıtımının sağlanması konusunda yürütülecek çalışmaların tasarım sürecinin başlangıcından itibaren göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Yapı elemanlarının ses yalıtım performansının belirlenebilmesi konusunda literatürde çeşitli teorik yaklaşımlar ve hesaplama modelleri yer almaktadır ve zaman içerisinde farklı kuruluşlar tarafından modellerdeki temel bağıntıları içeren bir çok yazılım aracı da geliştirilmiştir. Bu yazılım araçlarıyla bir binanın istenen kriterleri sağlayıp sağlamayacağı ortaya konulabilmekte, bina performansının geliştirilmesine yönelik en uygun seçeneklerin araştırılmasına imkan sağlanmaktadır. Bu araçlar işlev açısından benzerdir ancak nitelik, hesap yöntemleri, malzeme veri tabanları ve kullanıcı arayüzleri açısından farklılıklar göstermektedir.

Bu yazılım araçlarından üzerinde çalışılmakta olan projeye göre hangisinin tercih edilebileceği konusunda bilgi sahibi olunması ve pratikte zaman kaybı yaşanmaması oldukça önem arz etmektedir. Bu nedenle bu çalışma, ülkemizde erişimi kolay, en bilinen ve yaygın kullanılan ses yalıtımı tahmin programları hakkında verilen genel bilgi ve karşılaştırmalar ile tasarımcıların simulasyon aracı seçiminde karar verme konusunda yol göstermeyi hedeflemektedir. Programların seçiminde hesaplama modellerinin bilimsel temellere dayandırılmış olması, hesaplama parametrelerinde benzerlik olması, tek veya çok katmanlı elemanlar için hesaplama yapabilmesi, ses yalıtım değerlerini oktav bantlarda veya tek sayılı değerlendirme ölçütlerine göre verebilmesi, malzeme veri tabanı içermesi gibi ölçütler de dikkate alınmıştır.

2. SES YALITIMI

2.1. Standart, Yönetmelik ve Mevzuatlar

Ülkemizde yapıların ses yalıtım performansının değerlendirilmesi konusunda herhangi bir mevzuat bulunmamaktadır. Avrupa'da ise bu konudaki yasal gereklilikler, performans tanımlayıcılar ve sınır değerleri çok farklıdır. Bu doğrultuda Avrupa birliği ülkelerinde göstergeler konusunda uyum sağlanması ve konutlar için bir akustik sınıflandırma sisteminin önerilmesine yönelik çalışmaları kapsayan COST TU 0901 araştırma projesi oluşturulmuştur.

Türkiye projeye Mart 2011'de katılmıştır. Projenin Aralık 2013'te tamamlanması planlanmıştır **[3]**.

Standart olarak konuyla ilgili EN 12354 (Bölüm: 1,2,3,4,5,6) **[4]** ve ISO 15712 (Bölüm: 1,2,3,4) **[5]** standartları, binalarda odalar arasında sesin yalıtımının tahmininde kullanılmak üzere doğrudan veya dolaylı iletimi karakterize eden ölçme yoluyla elde edilen verileri ve teorik metotları kullanacak şekilde tasarımlanmış hesaplama modellerini kapsamaktadır. Laboratuar ve saha ölçümleri ISO 140 **[6]** standartlarının çeşitli bölümlerinde tanımlanmakta olup bu bölümler genel olarak ölçüm koşulları, kullanılan ekipmanlar, tesisler, analizler, değerlendirmeler ve belirsizlikleri içermektedir. 2010 yılında ISO 140 Bölüm: 1,3,6,8,9,10,11,16 standartları ISO 10140-1:2010 **[7]** olarak, ISO 140-12 standardı ISO 10848-2:2006 **[8]** olarak, ISO 140-13 standardı ise ISO-14:2004 standardının 2007 yılındaki düzeltmesi olarak revize edilmiştir. ISO 140 Bölüm : 2,4,5,7,18 standart numaraları ise değişmemiştir. Hesap ve ölçüm sonuçlarının ses azaltım değeri ISO 717 (Bölüm: 1/2]**[9]** veya ASTM E 413 **[10]** standartlarına çevrilerek belirtilmektedir.

2.2. Sesin Yalıtımı İçin Tek Sayılı Büyüklükler

Bir yapı elemanının ses iletim özellikleri Ses İletim Kaybı (*Transmision Loss, TL*) veya Ses Azalma İndeksi (*Sound Reduction Index, R*) ile ifade edilmektedir. Bu ölçütler yapı elemanına gelen ses şiddeti ile iletilen ses şiddeti arasındaki azaltımı ifade etmekte olup frekansa bağlı olarak farklılık göstermektedir **[11].**

Havadoğuşlu sesin yalıtım değerlendirmelerinde STC, R_w, DnT, $DnT_{,w}$ gibi tek sayılı büyüklükler kullanılmaktadır. Ses Geçiş Sınıfı (*Sound Transmission Class,* STC), ASTM E413–10 standardına göre **[10]** Ağırlıklı Ses Azalma İndeksi (*Weighted Sound Reduction Index,* R_w) ise ISO 717–1'e göre laboratuar testlerinde kullanılan hava doğuşlu sesin yalıtım performansını tarif etmektedir. Standartlaştırılmış Ses Seviye Farkı (*Standardized Level Difference*, DnT) ve Ağırlıklı Standartlaştırılmış Ses Seviye Farkı (*Weighted Standardized Level Difference*, $DnT_{,w}$) büyüklükleri genellikle saha testlerinde kullanılmaktadır ve kaynak ve alıcı odalarının birinde çınlama süresine bağlı olarak ortalama oluşan ses basınç seviyesi de dikkate alınmaktadır **[9].** R_w ve DnT_w, ISO 717-1'de tarif edilen spektrum adaptaston büyüklükleri ile birlikte R_w (C; C_{tr}) ve DnT_w (C;C_{tr}) olarak ifade edilmektedir. C, spektrum no:1 ile hesaplandığında A ağırlıklı pembe gürültüsini C_{tr} ise, spektrum no:2 ile hesaplandığında A ağırlıklı şehir trafik gürültüsü tarif etmekte, gürültünün tipine göre ses yalıtımını karakterize etmede kullanılmaktadır **[9]**.

Darbe sesinin yalıtım değerlendirmelerinde ise Darbe Ses Basınç Düzeyi L, ile gösterilmekte olup tek sayılı olarak IIC, L_n, $L_{n,w}$, L'_n, $L'_{n,w}$, $L_{n,T}$, , L'_{nT} , $L_{nT,w}$, $L'_{nT,w}$ büyüklükleri kullanılmaktadır. Darbe gürültülerine karşı Darbe Yalıtım Sınıfı (*Impact Insulation Class*, IIC) büyüklüğü, ASTM E989-06 (2012) standardına göre ortaya konulmuş olan döşeme ya da tavanların yalıtım değerlerinin tek sayılı ifadesidir **[12,13]**. L_n , laboratuar ölçümlerinde 10 m^2 algılama odasındaki reverberasyon süresi de dikkate alınarak normal hale getirilmiş ses basınç düzeyini tanımlamaktadır. L_{nT} ise 0.5 sn reverberasyona gore standardize edilmiş laboratuar ölçümlerini tanımlamaktadır. L'_n ve L'_{nT} darbe ses basınç seviyesinin sahada ölçümlerinde kullanılan büyüklüklerdir ve $L_{n,w}$, $L_{nT,w}$, $L'_{n,w}$ ve $L'_{nT,w}$ ISO 717-2'ye göre ağırlıklandıran değerleri tarif etmektedir **[9]**.

Düşük ve orta frekans seslerin yoğunlukta olduğu trafik, havayolu gibi çevresel gürültülerin de değerlendirilebilmesi için Dış-İç Ortam İletim Sınıfı (*Outdoor–Indoor Transmission Class*-OITC) değerlendirme sistemi gelişirilmiştir OITC, 80-5000 Hz frekans aralığında yapı elemanlarının ölçülen Ses İletim Sınıfı (TL) verilerini ASTM E 1332-90'a göre tek sayılı değerlendirmektedir **[14]**. İç ortam gürültü düzeyini arttıran bir etken olan yağmur gürültüsü için ISO 140-18'de tarif edildiği şekilde ses şiddeti düzeyi (sound intensity level-Li) dikkate alınarak hesap yapılmaktadır **[6].**

3. SES YALITIMI HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

3.1. Tek Katmanlı Panellerin İletim Kayıplarının Hesaplanması

Geçirimsiz tek katmanlı panellerin iletim kaybının tahmini için kütle kanunu olarak bilinen yöntem kullanılmakta olup malzemelerin yüzey ağırlığı, büküm sertliği (*bending stiffness*), boyutlar, iletim faktörü, sesin geliş açısı gibi fiziksel özellikleri dikkate alınmaktadır. Bu teoriye göre frekanslara bağlı ses iletim kaybının ne şekilde olacağı tarif edilmektedir **[15].** Cremer tarafından kütle kanunu, 1942 yılında kritik frekanstaki değişimi içerecek şekilde modifiye edilmiştir. 1970 yılında E.C. Sewell sonsuz alanlı paneller için 200 Hz'den düşük frekanslar için düzeltme yayınlamıştır **[15].**

3.2. Çift ve Üç Katmanlı Panellerin İletim Kayıplarının Hesaplanması

Arasında hava boşluğu veya yutucu malzeme bulunan iki ayrı panelin bulunduğu iki katmanlı panellerde ses enerjisi öncelikle birinci panelden hava boşluğuna oradan ikinci panele iletilmekte kütle-hava-kütle rezonansı ve boşluk rezonansı iletim kayıplarını önemli ölçüde etkilemektedir **[15]**.
Çift tabakalı paneller arasındaki katı veya esnek bağlantıların ses iletimindeki etkisi ilk olarak 1973 yılında B.H. Sharp tarafından incelenmiştir **[16].** Fahy, sesin gelme açısını da dikkate alarak iletim katsayısı için rijit ses köprüleri üzerinden alternatif bir model sunmuştur **[16].** Rindel, Sharp'ın geliştirmiş olduğu bağıntıları katı olmayan esnek veya ince çelik taşıyıcılar için 1989 yılında uyarlamıştır **[17]**. Kurtovic ise Rindel'in modelini hafif iskelet taşıyıcılı sistem için geliştirmiştir **[15].** Ljunggren, kritik frekans üzerindeki frekanslarda ortalama iletim faktörünün kaynak odası alanına bağlı olduğunu belirtmiştir **[16].** Zaman içerisinde çift tabakalı panellerin ses azaltım indeksleri üzerinde farklı fiziksel parametrelerin etkisi bir çok araştırmaya konu olmuş ilave deneysel tahmin modelleri de geliştirilmiştir **[16].**

Üç katmanlı panellerin iletim kayıpları için malzemelerin doğal frekansları hariç dinamik davranışlarına göre çift tabakalı elemanlara benzer formüllerle hesap yapılmaktadır. Genellikle aynı ağırlıkta çift tabaklı elemanlara göre akustik yalıtımı daha yüksek sonuç vermektedir. Konstrüksiyonun kendi doğal dinamik titreşim modlarında yalıtımda düşüşlerin gözlemlenmesi mümkündür **[18].**

3.3. EN 12354 / ISO 15712 Standard Yöntemleri

EN 12354 **[4]** ve ISO 15712 **[5]** Avrupa standartları yapılarda havadoğuşlu, darbe ve ekipman gürültüsü için hesaplama modelleri içermektedir. Standartlar enerji akışı ve istatistiksel enerji

analizi (*statistical energy analysis-SEA*) prensiplerini temel almaktadır. Enerji akışı tüm tahmin yöntemlerinde kullanılmaktadır ancak en önemli fark bölücü elemanlarda sesin çapraz iletimi olup standartlarda buna yönelik tahmin modelleri yer almaktadır **[19]**.

3.4. Transfer Matris Yöntemi

Bu yöntem, düz paneller ile ilişik elastik, gözenekli ve akışkan olabilen gürültü kontrol malzemelerinin oluşturduğu çoklu katmanın havadoğuşlu iletim kaybını hesaplamak için kullanılmaktadır. Yöntem, çoklu katmanı sonsuz uzunlukta varsaymakta ve farklı ortamda düzlemsel dalga yayılımını transfer matrisleri şeklinde oluşturulmasını sağlamaktadır. Uygulamada modelin düşük frekanstaki iletim kayıplarını iyi hesaplandığı ancak yanal sınır şartlarının etkisini ve böylelikle sistem davranışını ihmal etmesi nedeniyle yüksek frekansta daha etkili olduğu belirtilmektedir **[20]**.

3.5. FMulay Modeli

Parametrik çalışmaların kolaylaştırılması amacıyla Kurra tarafından geliştirilen FMulay modeli, yalnızca yaygın alanda değil istenen açıda eğik durum için sonuç vermektedir. Ayrıca modele göre yaygın alanda sınırlayıcı geliş açısını (*limiting angle of incidence*) da değiştirme olasılığı vardır. Sınırlayıcı açı (*limiting angle*) yanında kalınlık, yoğunluk, kayıp faktörü, elastisite modülü ve katı ve sönümleme tabakalarının Poisson oranı frekans aralığı ve bant genişliği, gözenekli malzeme akış direnci gibi diğer giriş parametrelerini de içermektedir **[21]**.

4. SES YALITIMI TAHMİN YAZILIMLARI

4.1. Genel

Bilimsel temellere dayalı hesaplama modeli kullanan ve bu nedenle tahmin sonuçlarının gerçek verilere yakın elde edildiği belirtilen yazılımlar arasında Insul; SoundFlow; Bastian, SONarchitectISO, Acoubat, AcouSYS ve WinFlag programları günümüzde genellikle tercih edilmektedir. Genel anlamda Insul; duvarlar, zemin, tavan ve pencerelerin ses yalıtımı için bir tahmin programıdır **[22]**. SoundFlow, çok katmanlı yapılarda sesin yutulması, yansıması ve iletimini hesaplamaktadır **[23]**. Bastian, odalar ve dış-iç ortam arasında ses iletimini hesaplamakta olup yazılımın öncelikli amacı, eleman düzeyinde değil iki mekan arasındaki tüm birleşim noktaları dikkate alındığındaki ses iletimini hesaplamaktır **[24]**. Sonarchitect ISO, Insul ile entegre çalışabilen tüm binada ses yalıtım hesaplamalarını gerçekleştirmek için oluşturulmuş bir yazılımdır **[25]**. Acoubat bina performansını tekil ürün ve malzemelerin performansından hesaplamaktadır **[26]**. AcouSYS yazılımı bina, otomotiv ve havacılık alanında kompleks çok katmanlı strüktürlerin akustik performansını tahmin etme amaçlı kullanılmaktadır. Bütünsel araştırmalar, optimizasyonlar ve parametrik çalışmalar yapılabilir **[27]**. Winflag ise farklı malzeme katmanlarını bir araya getirerek ses yutuculuk katsayısı, empedans ve ses azaltım indeksini hesaplayan bir programdır **[28]**.

4.2. Tanımlayıcılar

Programlar **Çizelge 1**'de belirtilen performans parametrelerinin tahminini yürütebilmektedir.

Çizelge 1: Tahmin edilen gösterge-tanımlayıcıların karşılaştırılması

Yazılım	Hava doğuşlu ses yalıtım performansı	Darbe ses yalıtım performansı	Diğer	(C,C_{tr}) ; C_i Aralığı (Hz)
Insul	R_w (C,C_{tr}) ; DnT_w (C,C_{tr}) ; STC; OITC	$Ln,_w$ (100-3150); IIC	Li	(C,C_{tr}) : 100-3150, 50-5000, 50-3150, 100-5000, 50-2500
SoundFlow	NRC; R_w(C,Ctr) ; STC		[Z0], α_w, Yansıtma katsayısı, Yansıtma faktörü, İletim faktörü;	(C,C_{tr}) : 125-3150, 50-5000
Bastian	R'_w; $R'_{45°,w}$; $R'_{tr,s,w}$; Dn,w; D2m,n,w; $DnT,_w$; D2m,nT,w-; STC; OITC	$L'n,_w$- $L'nT,_w$ IIC	$T_{s,situ}$	(C,C_{tr}) : 100-5000, 50-5000, 50-3150 Ci: 50-2500
SONarchitect ISO	R_w(C;Ctr) ; $DnT,_w$(C;Ctr)	$L'n,_w$; $L'nT,_w$+CI-	T_{30}	(C,C_{tr}) : 100-3150, 50-3150, 100-5000, 50-5000 Ci: 100-2500, 50-2500
Acoubat	R'; DnT, Dn, ΔLfs; R; ΔR; Dn,e; Dn,s; Dn,f	L'n; L'nT; Ln; ΔL, ΔLd; Ln,f	T	(C,C_{tr}) : 50-5000
AcouSYS	R ; R_w(C;Ctr); ΔR	Ln; ΔL	RTBL; α_s (normal açı, yaygın alan); Li	(C,C_{tr}) : 50-5000
WinFlag	R (sonsuz uzunlukta sert duvar hariç); R_w		α; α_W	n/a

(R: Ses azaltım indeksi; R': Görünür ses azaltım indeksi; R_w (C,C_{tr}): Ağırlıklı ses azaltım indeksi; R'w; R'45°,w; R'tr,s,w : Ağırlıklı görünür ses azaltım indeksi; ΔR: Ses azaltım indeksindeki gelişim; STC: Ses iletim sınıfı; OITC: Dış iç ortam iletim sınıfı; Dn: Normalize edilmiş fark, DnT: Standardize edilmiş düzey farkı, Dn,w; D2m,n,w: Ağırlıklı normalize edilmiş düzey farkı; DnT,w(C,C_{tr}); D2m,nT,w : Ağırlıklı standardize edilmiş düzey farkı; Dn,e: Normalize düzey farkı elemanı; Dn,s: Havadoğuşlu sesin direkt olmayan iletimi için normalize edilmiş düzey farkı; Dn,f: Yanal normalize edilmiş düzey farkı; IIC: Darbe yalıtım sınıfı; Ln: Normalize edilmiş darbe ses basınç düzeyi; L'n: Normalize edilmiş darbe ses basınç düzeyi; Ln,w: Ağırlıklı normalize darbe ses basınç düzeyi; L'nT: Standardize edilmiş darbe ses basınç düzeyi; L'n,w: Ağırlıklı görünür normalize edilmiş darbe ses basınç düzeyi; L'nT,w: Ağırlıklı standardize darbe ses basınç düzeyi; ΔL, ΔLd: Darbe ses basınç düzeyindeki azalım; Li: Ses şiddeti düzeyi; ΔLfs: Cephe formu düzey farkı; Ln,f: Normalize edilmiş yanal darbe ses basınç düzeyi; T, T_{30}: Reverberasyon süresi; $T_{s,situ}$: Strüktürel reverberasyon süresi; Z0: Girdi empedansı ; RTBL: Türbülanslı sınır katman uyarımına bağlı iletim kayıp faktörü; NRC: Ses azaltım katsayısı; α, αs :Ses yutuculuk katsayısı; αw : Ağırlıklı ses yutuculuk katsayısı)

4.3. Önemli Ayırtedici Özellikleri

Programların ses yalıtımını tahmin etme özelliklerinin yanısıra ön plana çıkan özellikleri **Çizelge 2**'de gösterilmektedir.

4.4. Malzeme Veritabanı

Programın veritabanındaki malzemeler **Çizelge 3**'te oluşturulan listede belirtildiği şekilde gruplara ayrılmaktadır. Programlarda malzemelerin bağlantı şekillerinin modellenebilmesi durumu da sözkonusu çizelgede gösterilmektedir.

Çizelge 2: Önemli ayırtedici özellikler karşılaştırılması

Yazılım	Ayırtedici Özellikler
Insul	Dış - iç ortam arası ses yalıtımı hesaplaması; Oralizasyon (*Auralisation*); Yağmur gürültüsü
SoundFlow	Çeşitli strüktürlerin eşzamanlı incelenebilmesi; Farklı frekanslarda, farklı açılarda veya birden çok strüktürün sonuçlarının karşılaştırılması
Bastian	Strüktürel reverberasyon süresi; Oralizasyon (*Auralisation*); Cephe biçiminin tanımlanabilmesi
SONarchitect ISO	Oralizasyon (*Auralisation*); Yapı tipi/birimi ile gereksinimlerin uyumluluğu ; Avrupa ülkeleri standartlarında tanımlanan kalite seviyesindeki her bir kapalı ortamın ses yalıtımının tanımlanması; Dış ortam gürültü haritasının oluşturulması; Reverberasyon süresi
Acoubat	Oralizasyon (Auralisation); Servis ekipmanı ses gücü düzeyi hesapları
AcouSYS	Hızlı karşılaştırma yapabilmek için laboratuar sonuçları programa içeri aktarılabilir; Çeşitli projeler ve hesaplamalar eşzamanlı oluşturulup yönetilebilir.
WinFlag	Seçilen katman dizilişleriyle kanallardaki gürültü azaltımının hesaplanabilmesi

Çizelge 3: Malzeme veritabanlarının karşılaştırması

Yazılım	Malzeme	Bağlantı şekillerinin modellenebilirliği
Insul	Katı malzemeler, Gözenekli malzemeler, Döşeme kaplamaları	İskelet tipi seçilebilmektedir
SoundFlow	Yutucular, Perfore paneller, Levhalar	n/a
Bastian	Temel elemanlar, İlave katmanlar, Eklenen elemanlar, Küçük elemanlar, Sistemler	Kesişim noktaları tipleri seçilebilmektedir.
SONarchitect ISO	Döşemeler, Duvarlar ve duvar kaplamaları, Çatılar, Yüzer döşemeler, Asma tavanlar, Tavan & duvar & döşeme yutucuları	Kesişim noktaları tipleri seçilebilmektedir.
Acoubat	Döşeme kaplamaları, Ara bölmeler, Teknik ekipmanlar, Kaplamalar, Kapılar ve pencereler, Geleneksel yığma duvarlar, Taşıyıcı duvarlar veya betonarma döşemeler, Çatılar, Asma tavanlar ve yükseltilmiş döşemeler, Perde duvar cepheler, Yutucu malzemeler	Kesişim noktaları tipleri seçilebilmektedir.
AcouSYS	Akışkan malzemeler, Izotropik katı malzemeler, Ortotropik katı malzemeler, Viskoelastik malzemeler, Gözenekli malzemeler Eşdeğer akışkan malzemeler, Gözenekli katı malzemeler	İskelet bileşeni seçilebilmektedir
WinFlag	Gözenekli kaplamalar, Gözenekli tabakalar, Oluklu plakalar, Gözenekli plakalar, Esnek kütleler, Katı levhalar (panel), Sert duvarlar (rijit destek), Hava	Strüktürel köprüler seçilebilmektedir.

Insul programında yeni malzemelerin ses azalım indeksleri bu malzemelerin fiziksel özelliklerinin yazılmasıyla eklenebilmektedir. Programda en fazla 20 tabaka birleştirilebilmektedir. Soundflow programında yutucuları akış dirençleri, levhaları çakışma frekansı *(coincidence frequency)* perfore levhaları gözeneklilik özellikleri tanımlamaktadır. Yeni malzemeler malzemelerin fiziksel özelliklerinin girilmesiyle veya mevcut malzemelerin modifiye edilmesiyle arttırılabilir. Bastian veritabanı kullanıcı tarafından düzeltilmeyen veya silinemeyen yapıya ilişkin çeşitli konstrüksiyonlar verileri içermektedir. Program içerisinde Bastian, Saint-Gobain Isover, Rigips GmbH, Geluidwering in de Woringbouw, Saint-Gobain Glas olarak tanımlı çeşitli veritabanları yer almakta olup ses kaynakları da veri tabanı içerisinden seçilebilmektedir. SONarchitect ISO veritabanında 300'den fazla markası yer almayan, 900'den fazla ticari konstrüktif çözüm yer almaktadır. Simmons Nordic Veritabanı satın alınıp programa eklenebilir. Acoubat programında 12 kategoride 2400 ürünü ve 3000 akustik performansı içeren

ürün veritabanı bulunmaktadır. EN 12354-5'e göre servis ekipmanına bağlı ses düzeyleri de yer almaktadır. Kişisel ürünler de oluşturulabilir. Acousys programında her tip malzemeye bir renk atanmıştır. Yeni malzemeler mevcut malzemelerin kopyalanması ve düzenlenmesiyle oluşturulabilmektedir. Winflag programında Çizelge 3'te belirtilen malzemeler arasından seçilerek sistem oluşturmaktadır. Bağlantılar sonsuz sert ya da esnek olarak simule edilebilmektedir.

4.5. Hesaplama Yöntemi

INSUL, hesaplamalarını kritik frekansı dikkate alan kütle yasası teorisi uygulayarak oluşturulan modeller ile B.H. Sharp, Cremer, Fahy, Ljunggren, Rindel ve diğerlerinin geliştirdiği yaklaşımları temel almaktadır **[22,29]**. Ayrıca "Sewell düzeltmesi" programda yer almakta olup bu düzeltme, programda kapatılıp hesaba katılmayabilir veya farklı panel büyüklükleri tanımlanabilir **[29].** Normal bir strüktürün kenarında oluşan enerji kaybını modelleyen faktör olan kenar sönümlenmesi (*Edge damping*) düzeltmesi de ayrıca kapatılabilir. Kaçaklar etkisi de yüksek frekanslardaki kesiklerin rezonanslarını dikkate alan Gomperts **[16]** veya kapatıcı yalıtım malzemelerin (*seals*) empedans ve yayılma faktörü bilgisini içeren Mechel **[16]** aralık ve kesik(slit) hesaplama modeline göre modellenebilmektedir **[29]**

Soundflow programının hesaplamalarında, ISO 12354 standardına bağlı hesaplama modelleri dahil olmak üzere Mechel, Bies, Komatsu, Miki, Delany-Bazley, Homogeneous, Mechel-Capillary, Mechel, Mechel Grundmann, Low C, High C gibi çeşitli modeller arasından seçim yapılabildiği belirtilmektedir **[23].** Bastian ses yalıtımını EN 12354 Bölüm 1-2-3 'e bağlı olarak hesaplamaktadır. Strüktürel reverberasyon süresi ($T_{s,situ}$) hesaplamaları EN 12354-1, Ek-C hesaplama yöntemi veya istatistiksel enerji analizi (*Statistical Energy Analysis-SEA*) kullanan Craik yöntemi ile ağır duvarların ses azaltımını ölçme ve hesaplamada kayıp faktörünü dikkate alan Fischer ve diğerlerinin modellerine göre yürütülmektedir **[23].**

SONarchitect ISO ses yalıtımı için EN 12354 bölüm 1-2-3-4'e göre, reverberasyon süresi için EN 12354 bölüm 6'ya gore hesaplama yapmaktadır. Ses azaltım indeksi ve darbe gürültü düzeyinin analitik hesaplamalarında transfer matris yöntemi ve istatistiksel enerji analizi (*Statistical Energy Analysis-SEA*) temel alınmaktadır. Acoubat, yan yana, üst üste ve çapraz olarak bitişik odalar arasındaki ses yalıtımı hesaplamalarında EN 12354 Bölüm 1,2,3,5,6'yı dikkate almaktadır. Acousys yazılımı transfer matris yöntemini temel almaktadır. Gözenekli katmanların (yutucu malzemelerin) modellenmesi malzemenin elastik ve akışkan fazında eş zamanlı hareket eden iki çift basınç ve kayma dalgası çiftinin yayılmasını içermektedir. Perfore elemanlar Atalla ve Sgard'ın çalışmasına göre modellenmekte olup sistem rijit çerçeve ve eşdeğer büküm ile gözenekli malzeme gibi davranmaktadır. Ortotropik katılar ortotropik levhalar şeklinde modellenmektedir. Ayrıca katmanlar birbiriyle sınırlandırılmış veya sınırlandırılmamış şekildedir. İstatistiksel enerji analizi (*statistical energy analysis-SEA*) yaklaşımına gore tek iskeletli bölmelerin ses azaltım indeksinin tahmini için spesifik bir opsiyon da (PlugIn Cloison) bulunmaktadır. Hesaplamalarda WinFlag esnek levhalar haricinde Transfer matris yöntemini yalnızca iki fiziksel değişken olan ses basıncı ve partikül hızı ile kullanmaktadır. Bu durumda gözenekli malzemeler akışkanları eşdeğer olarak kabul etmekte ve bu durumda belirli sünger malzemeler tam anlamıyla temsil edilemiyor olmaktadır

4.6. Kullanıcı Arayüzü

Programların kullanımına ilişkin bilgiler kullanım kılavuzlarında detaylı olarak tanımlanmaktadır. Farklı dil seçenekleri ve birimlere göre açılış ekranı seçilebilmekte olup hesaplamalarda **Çizelge 4**'te verilen oktav bant genişliğine göre sonuç elde edilebilmektedir. Insul ve Winflag programları malzeme kesitleri 2 boyutlu görünümde gösterilmekte olup diğer programlarda mekanlar 3 boyutlu olarak görüntülenebilmektedir.

Çizelge 4: Kullanıcı Arayüzlerinin karşılaştırılması

Yazılım	Arayüz			
	Dil	**Birimler**	**Bant genişliği ve Oktav**	**Görsel**
Insul	İngilizce, Fransızca, Almanca, İspanyolca, İsveççe, Lehçe, Çince	Metrik, İngiliz	Oktav (50-5000 Hz aralığı); 1/3 Oktav	2d görünüm
SoundFlow	İngilizce,	Metrik, U.S. Geleneksel Kesirli ve Ondalık İnç	Oktav (50 -5000 Hz aralığı), 1/3 - 1/6 - 1/12 - 1/24 Oktav,	3d görünüm
Bastian	Almanca, İngilizce, Fransızca, İspanyolca	Metrik	Oktav (100-3150 Hz aralığı) veya (50-5000 Hz aralığı), 1/3 Oktav	3d görünüm
SONarchitect ISO	İspanyolca, Portekizce, Almanca, İtalyanca, Türkçe, Hırvatça, Lehçe	Metrik	Oktav, (50-5000 Hz aralığı), 1/3 Oktav,	3d görünüm
Acoubat	İngilizce, Fransızca	Metrik	Oktav, (100-5000 Hz aralığı), 1/3 Oktav	3d görünüm
AcouSYS	İngilizce, Fransızca	Metrik	Oktav (20-10000 Hz aralığı), 1/3 Oktav	3d görünüm
WinFlag	İngilizce	Metrik	Oktav (40-10000 Hz aralığı), 1/3 Oktav	2d görünüm

4.7. Güvenilirlik

Programların güvenilir olduğunun aktarılması ile ilgili tahmin edilen ve ölçülen ses yalıtım performanslarının karşılaştırılması konusunda çeşitli kaynaklarda bilgi verilmektedir. Insul websitesinde bu konuda 12 adet karşılaştırmalı örnek verilmiştir. Buna göre programın STC değerlerini 3-5 dB yaklaşıklık payı ile güvenilir şekilde tahmin ettiği sonucu elde edilmiştir **[30]**. Soundflow programı için Lauriks ve Maa Dah-You'nun hazırlamış oldukları bildiride karşılaştırmalı olarak ortaya konularak sonuçta değerlerin çok yakın olduklarının saptanmış olduğu bilgisi aktarılmaktadır **[31, 32]**.

Cambridge'nin hazırlamış olduğu tezde, örnek bir betonarme monolitik duvar için EN 12354-1 standart modelinde tarif edilen bağıntılar Matlab programı ile hesaplanmış ve aynı zamanda Bastian program ile simulasyonu yürültülmüştür. Sonuç olarak standartta belirtilen model ve Bastian arasında elde edilen değerler yakın olmasına rağmen maksimum 3 dB civarı standart

sapma görülmektedir. Bunun nedeni olarak da standardın yoğunluk, iç kayıp faktörü gibi malzeme özelliklerine ilişkin gerekli verileri içermekteyken boyutsal bir düzeltme belirtmemiş olması, Bastian'ın ise Josse and Lamure tarafından da oldukça önemli etkisi olduğu belirtilen boyutsal düzeltmeyi de dikkate alıyor olması gösterilmiştir **[29].**

Sound Of Numbers, 2009 yılında G.O.C. ve Galician Building Institute ile birlikte San Paio de Navia (Vigo, İspanya)'da yeni yapılan 2 bina üzerinden doğrulama testi gerçekleştirmişlerdir **[33].** Sonuçlar ortalama sapmanın 2 dB altında olduğunu göstermektedir. Sobreire-Seoane M. A'nın 2009 yılında sunulan bildirisinde ise SONarchitect ISO'nun gerçek binalarda ve EN ISO 12354'e göre olan hesaplamalar karşılaştırıldığında çok iyi sonuç verdiği belirtilmektedir **[34]**.

Guigou-Carter C et al. **[35]**, Acoubat yazılımının bina akustik performansı üzerinde farklı termal güçlendirme elemanlarının etkisinin belirlenmesi ve farklı iletim yolları açısından analiz edilmesini konu eden bir bildiri hazırlamışlardır. Bitişik iki konut incelenmiş ve proje kapsamında güçlendirilen bina performansı ile ölçümler karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak ölçümler ve tahminlerin birbirine oldukça yakın sonuç verdiği saptanmıştır. Rainer Thaden'ın kitabında **[36]** ise Acoubat programının ölçülen değerlerin 0.6 dB altında tahmin yaptığı belirtilmektedir. AcouSYS hesaplama sonuçları ile laboratuar ölçümleri karşılaştırmaları "Doğrulama kitapçığı"nda farklı kesit ve bileşenler için sunulmaktadır **[37]**. Sonuçlara göre simulasyonlar ve ölçümler arasında iyi bir korelasyon saptanmıştır **[37].** Ancak bu karşılaştırmalarda 4/16/4 çift cam için yakın bir sonuç elde edilmediği ve bu katman için transfer matris yönteminin uygun bir yöntem olmadığı aktarılmaktadır. Ayrıca briket duvarların da ince ortotropik (eğilme) teorisine gore düzgün simüle edilemeyeceği, programın gelecek sürümü için bu konuların üzerinde çalışılmakta olunduğu belirtilmiştir **[37]**. Winflag yazılımın kullanım kılavuzunda ise karşılaştırma örnekleri verilmekte, ölçülen ve hesaplanan değerlerin birbiriyle örtüştüğü tarif edilmektedir **[38].**

4.8. Satın Alma Bilgisi

Programların tümü Yazılım koruma anahtarı (dongle) satın alınabilmektedir. Insul, Bastian ve SONarchitect ISO Fiyatları Websitesinde belirtilmiyor olup yerel distribütör ile irtibata geçilmesi gerekmektedir. Diğer programların fiyatları KDV hariç olarak websitelerinde yer almaktadır. Programların 15-30 gün ücretsiz deneme sürümleri bulunmaktadır ancak bu demo versiyonlarında hesaplama sonuçları yanıltıcı şekilde yanlış verilmektedir veya bazı özellikler devre dışı bırıkılmıştır.

5. SONUÇ

Yapılarda akustik konforun sağlanması konusunda ses yalıtım performansının değerlendirilmesi günümüzde gelişmiş simulasyon araçları yardımıyla sağlanabilmektedir. Bu araçlarda bir binanın bütün olarak incelenebilmesi veya yapı elemanı düzeyinde tekil olarak ele alınabilmesi mümkün olabilmektedir. Çalışma kapsamında Insul, SoundFlow, Bastian, SONarchitect ISO, Acoubat, AcouSYS ve WinFlag programları değerlendirilmiş, genel özelliklerinin birbirleriyle karşılaştırması yöntemiyle kullanıcılara bilgi verilmesi amaçlanmıştır. Bu programların demoları websitelerinden indirilerek temin edilebilmekte ve genel hatlarıyla incelenebilmektedir. Genel ve önemli ayırtedici özellikleri websitelerinde ve kullanım kılavuzlarında tanımlanmaktadır.

Malzeme veritabanları genel anlamda bir hesap yapılabilmesi ve çok katmanlı bir elemanın oluşturulmasına imkan sağlamaktadır. SoundFlow programı haricinde bağlantı şekilleri modellenebilmektedir. Programlar katmanların kolay oluşturulabilmesi ve sonuçların aynı ekranda hızlıca gösterilmesi konusunda kullanıcı dostu olarak tanımlanabilir. Programların hangi amaçlar doğrultusunda (örn. hava doğuşlu ses yalıtımı) parametreleri tahmin ettiği websitelerinde yer almaktadır ancak detaylı göstergeler programları inceleyerek öğrenilebilmektedir. Hesap yöntemleri ve teorik yaklaşımlar konusunda websitelerinde genel bilgi verilmiştir ancak bu yöntemlerin detaylarından yeterince söz edilmemektedir. Programların doğru sonuç vermesi konusunda Insul ve Acousys programlarında direkt websiteleri üzerinden, WinFlag programında ise kullanım kılavuzundan ilgili sonuçlara ulaşılabilmektedir. SONarchitect ISO programında doğrulama(*validation*) kısmına alt linklerden dolaylı olarak ulaşılabilmektedir. Bastian, SoundFlow, Acoubat programları için ise websitelerinde kolay ulaşılabilir bir link yer almayıp önceden hazırlanan bilimsel çalışmaları araştırıp inceledikten sonra bilgi edinmek mümkün olmaktadır. Bu araçların detaylı incelenerek tasarımın başlangıcından itibaren kullanılması ve elde edilen sonuçlara göre kontrollerin yapılıp uygulamaların gerçekleştirilmesi kullanıcılara istenilen niteliklerin sağlanması konusunda büyük avantaj sağlayacaktır

KAYNAKLAR

1. S. Kurra, "Çevre Gürültüsü ve Yönetimi", Cilt:3, Bölüm:7, Bahçeşehir Üniversitesi Yayınları, İstanbul, (2009)

2. Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, Çevre ve Orman Bakanlığı

3. S. Kurra, "EU COST TU 0901- Ses yalıtımı değerlendirmelerinde uyum projesi ve sonuçların ülkemizde uygulanabilirliği", *10. Ulusal Akustik Kongresi*, İstanbul (2013)

4. EN 12354-1:2000, Estimation of acoustic performance in buildings from the performance of elements

5. ISO 15712:2005, Estimation of acoustic performance in buildings from the performance of elements

6. ISO 140: Measurement of sound insulation in buildings and of building elements

7. 10140-1:2010, Laboratory measurement of sound insulation of building elements, Part 1: Application rules for specific products

8. ISO 10848-2: 2006, Laboratory measurement of the flanking transmission of airborne and impact sound between adjoining rooms ,Part 2: Application to light elements when the junction has a small influence

9. ISO 717:1996 Rating of sound insulation in buildings and of building elements

10. ASTM E 413, Classification for Rating Sound Insulation

11. S. Y Demirkale, "Çevre ve Yapı Akustiği", Birsen Yayınevi, İstanbul, (2007)

12. ASTM E989 – 06 (2012) Standard Classification for Determination of Impact Insulation Class

13. M. Mehta, J. Johnson, J. Rocafort, "Architectural Acoustics: Principles and Design", Prentice Hall, (1999)

14. ASTM E 1332-90, Standard Classification for Determination of Outdoor-Indoor Transmission Class

15. M. Praščević, D. Cvetković, D. Mihajlov, "Comparasion of Sound Insulation Prediction Methods of Lightweight Partition", *Proceedings of the 13th International Congress on Sound and Vibration,* Vienna, (2006)

16. V. Hongisto, "Airborne sound insulation of wall structures- measurement and predicion methods", Dissertation for the degree of Doctor of Science in Helsinki University of Technology, *Espoo 2000 Report*, **56**, Finland, (2000)

17. K. O. Ballagh, "Accuracy of Prediction Methods for Sound Transmission Loss", *The 33rd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering*, Prague , (2004)

18. A. J. B. Tadeu, D. M. R Mateus, "Sound transmission through single, double and triple glazing. Experimental evaluation", *Applied Acoustics*, **62**, (2001) pp.307-325

19. B. Jonas, "Energy based prediction models for building acoustics, Joint Baltic-Nordic Acoustic Meeting, Danimarka, (2012)

20. N. Atalla, "Modelling the sound transmission through complex structures with attached noise control materials", *Wave Motion*, article in presss, http://dx.doi.org/10.1016/j.wavemoti.2013.11.001, (2013)

21. S. Kurra, "Comparison of the models predicting sound insulation values of multilayered building elements", *Applied Acoustics*,**73**, (2012), pp. 575–589

22. http://www.insul.co.nz/

23. http://soundflow.afmg.eu/

24. http://www.datakustik.com/en/products/bastian/

25. http://www.soundofnumbers.net/index.php/sonarchitect-iso

26. http://www.cstb.fr/dae/en/nos-produits/logiciels.html

27. http://www.cstb.fr/dae/en/nos-produits/logiciels/acousys.html

28. http://www.nvo.com/winmls/winflag24/

29. J.E. Cambridge, "An evaluation of various sound insulation programs and their use in the design of silent rooms", Master's Thesis , *Chalmers University Of Technology*, Sweden, (2006)

30. http://www.insul.co.nz/examples.html#

31. W. Lauriks, P. Mees, J. F. Allard, "The acoustic transmission through layered systems", Journal of Sound and Vibration, 155 (1), (1992), pp.125-132

32. Maa Dah-You, "Potential of microperforated panel absorber", *J. Acoust. Soc. Am.*, **104(5)**,(1998)

33. http://www.soundofnumbers.net/index.php/validation/58-validacion

34. M. A. Sobreire-Seoane, A. Rodriguez-Molares et al., "Automated EN 12354 Calculations Of Entire Buildings: SONarchitect ISO", *Proceedings of Internoise*, Portugal, (2010),

35. C. Guigou-Carter, R. Foret, R. Wetta, P. Ducruet, M. Villot, "Comparison of measured and predicted sound insulation for a thermal retrofitted building", *Noise Control Engineering Journal*, **59(3)**, (2011)

36. R. Thaden, "Auralisation in Building Acoustics". *Aachener Beiträge zur Technischen Akustik*, **3**, (2005)

37. ftp://ftp.grenoble.cstb.fr/public/acousys/manuel/Validation%20Booklet%20AcouSYS.pdf

38. http://www.winmls.com/winflag/WinFlag_help_v22.pdf

GÖLGENİN AÇIKLIK-KOYULUK ÖZELLİĞİNİN BELİRLENMESİNE İLİŞKİN BİR YAKLAŞIM

Araş. Gör. Dr. Şensin Aydın Yağmur[a]
Prof. Dr. Leyla Dokuzer Öztürk[b]
YTÜ Mimarlık Fakültesi
Yıldız, Beşiktaş, İstanbul, 34349

ÖZET

Bir hacimde aydınlatma düzeni kurulurken dikkate alınması gereken ölçütlerden biri mekanda oluşan gölgelerin özellikleridir. Gölge niteliğini, sertlik-yumuşaklık ve açıklık-koyuluk olmak üzere iki ayrı özellik belirler. "Lamba Işığı ile Aydınlatmada Gölge Niteliğinin Belirlenmesi ve Tasarım Kriteri Olarak Değerlendirilmesi İçin Bir Yaklaşım" başlıklı araştırma projesi kapsamında, bir hacimde ortaya çıkan gölgelerin belirlenmesi ve değerlendirilmesine yönelik bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu bildiride, gölgelerin açıklık-koyuluk tanımı ile ilgili geliştirilen yaklaşım, izlenen yöntem ve yapılan işlemlere yer verilmiştir. Geliştirilen yaklaşım bağlamında gölgenin açıklık-koyuluk derecelendirmesi yapılabilmiştir.

Anahtar sözcükler: Açık-Koyu Gölge, Sert-Yumuşak Gölge, Gölge Çekirdeği, Işıklılık, Parıltı

ABSTRACT

One of the lighting design criteria for architectural spaces is the attributes of shadows occurred in it. Two different characteristics which are harshness-softness and lightness-darkness determine the shadow. The project entitled "An approach for definition and evaluation of shadow characteristics as a design criterion occurred under artificial lighting" was implemented to develop an approach for determining and quantifying the shadow characteristics. In this paper, determining the lightness-darkness of shadow by the progressed approach, pursued method and derived results are given. Considering the progressed approach to define the lightness-darkness attribute of a shadow the grading steps are constituted.

Key words: Light-Dark Shadow, Harsh-Soft Shadow, Umbra, Luminance, Brightness

[a] e-posta adresi: sensina@yildiz.edu.tr
[b] e-posta adresi: dokuzer@yildiz.edu.tr

1.GİRİŞ

Bir hacimde aydınlatma düzeni kurulurken dikkate alınması gereken ölçütlerden biri mekanda oluşan gölgelerin özellikleridir. Gölge niteliğini, sertlik-yumuşaklık ve açıklık-koyuluk olmak üzere iki ayrı özellik belirler. Gölgelerin özelliği koşullara göre, bir hacimde zengin görüntülerin oluşmasına yol açabileceği gibi görsel algılamanın yorucu ve yanıltıcı olmasına da neden olabilir. Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenen, 2011-03-01-DOP01 numaralı ve "Lamba Işığı ile Aydınlatmada Gölge Niteliğinin Belirlenmesi ve Tasarım Kriteri Olarak Değerlendirilmesi İçin Bir Yaklaşım" başlıklı araştırma projesinde gölge niteliğinin iki boyutu ayrı ayrı ele alınmış ve bir hacimde ortaya çıkan gölgelerin belirlenmesi ve değerlendirilmesine yönelik bir yaklaşım geliştirilmiştir [**1-2**]. Gölge niteliği temelde,

- sertlik-yumuşaklık açısından, algılanan gölge çekirdeği/toplam gölge oranına;
- açıklık-koyuluk bakımından, gölge çekirdeği parıltısı ile toplam gölge sınırı parıltısı arasındaki farka

bağlı olarak tanımlanmıştır. Çalışmanın temel adımları aşağıdaki gibidir:

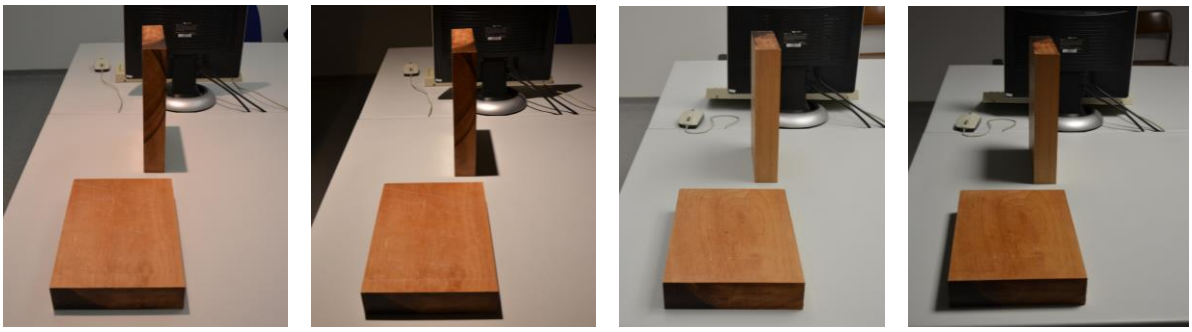
1. Gölgenin sertlik-yumuşaklık özelliğini saptamaya yönelik yaklaşımın geliştirilmesi
    a. Çok sayıda birbirinden farklı gölge örneklerinin hazırlanması
    b. Gölge örneklerini sertlik-yumuşaklık bakımından değerlendirmek amaçlı anket uygulaması
2. Gölgenin açıklık-koyuluk özelliğini belirlemeye yönelik, hesaplamaya dayanan bir yaklaşımın geliştirilmesi
3. İki kişilik bir büro hacmi olarak tasarlanan bir deney hacminde gölgenin her iki özelliğinin görsel olarak değerlendirilmesi
4. Gölgenin sertlik-yumuşaklık ve açıklık-koyuluk özellikleri açısından derecelendirilmesi

Gölge özelliklerinin görsel olarak değerlendirilebilmesi amacıyla 1/1 ölçekte oluşturulan ve tefrişi iki kişilik büro olarak tasarlanan deney hacminde tek masanın kullanıldığı ve iki masanın birden kullanıldığı durumlar için çeşitli aydınlatma senaryoları hazırlanmıştır. Aydınlatma senaryolarındaki gölgelerin değerlendirilmesine yönelik anket uygulanmıştır. Anket uygulamasında, çeşitli aydınlatma senaryolarındaki gölgelere ilişkin açıklık-koyuluk ve sertlik-yumuşaklık izlenimlerinin sayısal olarak belirtilmesi istenmiştir. Çalışmanın her ayrı adımı kendi içinde kapsamlı çalışmalar içermektedir. Bu bildiride, çalışmanın temelde 2. adımında izlenen yöntem özetlenmiş ve çalışmanın 4. adımında yapılan işlemlere kısmen yer verilebilmiştir.

2. GÖLGENİN AÇIKLIK-KOYULUK ÖZELLİĞİNİN SAPTANMASI

Gölgelerin aydınlanarak açık renkli görünmesi, hacim iç yüzeylerinden ve iç mimari elemanların yüzeyinden yansıyan ve/ya da gölgeyi yaratan kaynak dışındaki başka kaynaklardan gelen ışık ile aydınlanmalarına bağlıdır. Bir yüzeyde oluşan gölgenin açıklık-koyuluk özelliği, temelde gölgeli alan ve çevresinin ışıklılığına bağlı olarak değerlendirilebilir [**3-4**] (**Şekil 1**). Ancak, gölgesiz alanın gerek boyutunun gerekse bu alandaki ortalama aydınlık düzeyinin tanımlanmasında güçlükler vardır. Bunun nedenlerinden biri, gölgesiz alanın genellikle başka nesnelerin gölgeleri ile kesintiye uğramasıdır. Bunun yanı sıra, gölgenin düştüğü yüzeydeki aydınlık dağılımının düzgünlüğü standartlar tarafından önerilen koşulları sağlasa bile, örneğin bir masa üzerindeki gölgesiz alanın ortalama aydınlık düzeyi gölgenin çok yakın çevresindeki ortalama aydınlık düzeyinden hayli farklı olabilmektedir. Ayrıca, çalışan kişinin bakış doğrultusuna bağlı olarak

görme alanı içine giren gölgesiz alanın büyüklüğü de koşullara göre değişebilir. Bu nedenlerle, gölgenin açıklık-koyuluk değerlendirmesinin ancak çekirdek gölgenin ışıklılığı ile toplam gölgenin sınırını belirleyen noktaların ortalama ışıklılığı arasındaki orana bağlı olarak yapılabileceğine karar verilmiştir.



sert ve açık gölge | sert ve koyu gölge | yumuşak ve açık gölge | yumuşak ve koyu gölge

Şekil 1: Gölge özellikleri

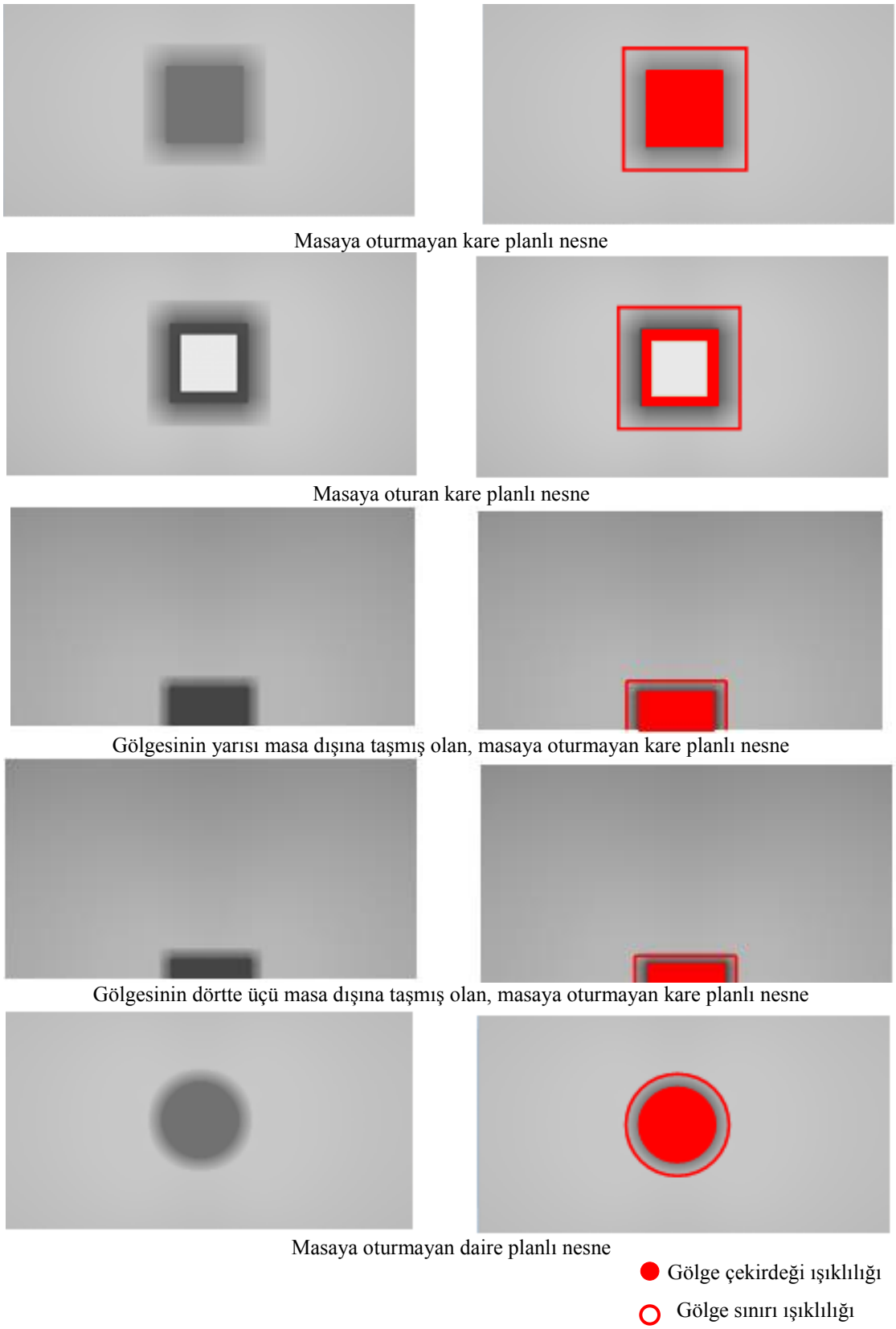
2.1. Gölge Çekirdeği ve Gölge Sınırı Işıklılıklarının Hesaplanması

Bu çalışmada, gölgenin açıklık-koyuluk değerlendirmesi, çekirdek gölgenin ışıklılığı ile toplam gölgenin sınırını belirleyen noktaların ortalama ışıklılığı arasındaki orana bağlı olarak yapılmıştır. Gölgenin, açıklık-koyuluk değerlendirmesinde dikkate alınan bölümlerine örnekler kare ve daire planlı nesnelerin bir masa yüzeyine oturdukları ve oturmadıkları koşullar için Şekil 2'de gösterilmiştir. Aynı şekilde gölgenin masadan taştığı durumlara da örnekler yer almaktadır. Her örnek için şeklin sol tarafında gölgenin doğal görünümü izlenmektedir. Şeklin sağ tarafında ise aynı gölge üzerinde gölge çekirdeği kırmızıya boyanarak, toplam gölge sınırı da kırmızı ile çizilerek vurgulanmıştır.
Çekirdek gölgenin ışıklılığı ile toplam gölgenin sınırını belirleyen noktaların ortalama ışıklılığı arasındaki oranı saptayabilmek için, gölge faktörü tanımından yararlanılmıştır. Ohtani ve diğerlerinin çalışmalarında gölge faktörü,

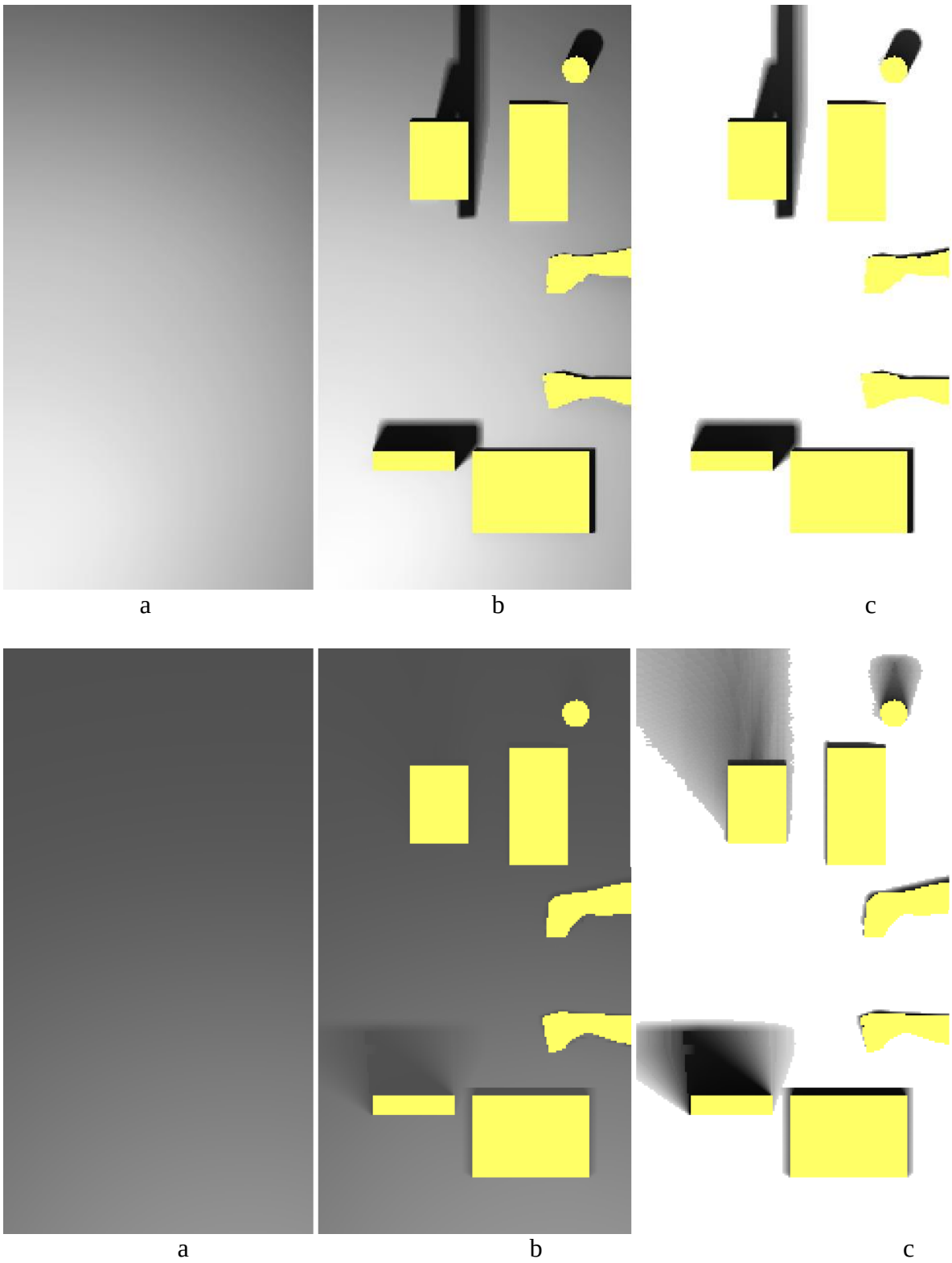
$$S=(E_o-E_s) / E_o \quad (1)$$

S: gölge faktörü
E_s: gölge içinde bir noktadaki aydınlık düzeyi
E_o: gölge atan nesnenin olmadığı durumda aynı noktadaki aydınlık düzeyi

olarak tanımlanmıştır [**5**]. Gölge faktörü, gölge çekirdeğinin gölgeyi yaratan kaynağın hiçbir noktasından ışık almaması ve gölgeyi yaratan kaynak dışında başka bir kaynak tarafından ya da hacim iç yüzeylerinden yansıyan ışıkla aydınlanmaması koşulunda 1.0, gölgesiz alanda ise 0.0 olmaktadır. Buna bağlı olarak, gölge faktörü dağılımı aracılığı ile yalnızca gölgenin olduğu alanın konum ve büyüklüğü belirlenebilmekte, gölge faktörünün sayısal değerlerine bağlı olarak da toplam gölge içindeki çekirdek gölgenin yeri ayırt edilebilmektedir. Bu nedenle, çok sık aralıklarla aydınlık düzeyi hesabının yapılabilmesi için, DIALux aydınlatma programı kullanılarak gölge niteliğinin belirlenmeye çalışıldığı masa yüzeyi üzerinde 5mm×5mm aralıklı hesap ağı atanmış, masa üzerinde nesnelerin olduğu ve olmadığı iki ayrı koşulda aydınlık düzeyi dağılımı hesaplanmıştır. Bir masa yüzeyi üzerinde nesnelerin olduğu ve olmadığı durumdaki aydınlık düzeyi dağılımı ve gölge faktörü dağılımına örnekler Şekil 3'te yer almaktadır.



Şekil 2: Açıklık-koyuluk değerlendirilmesinde dikkate alınan gölge çekirdeği ve gölge sınırı ışıklılıkları



Şekil 3: Masa üzerinde nesnelerin olmadığı (a) ve olduğu (b) durumdaki aydınlık düzeyi ve gölge faktörü (c) dağılımlarına örnekler

Gölgenin değerlendirildiği yüzey üzerindeki aydınlık dağılımı düzgün olmadığında, gölge faktörü de gölge çekirdeği boyunca belli oranda değişmektedir. Bu nedenle, açıklık-koyuluk değerlendirmesinde çekirdek gölge içindeki ortalama gölge faktörü dikkate alınmıştır. Bir gölgenin çekirdeğine ilişkin elde edilen ortalama gölge faktörü, gölge ve yakın çevresindeki aydınlık düzgün yayılı ise dolaylı olarak gölgenin sınırındaki ortalama aydınlığın gölge çekirdeğindeki ortalama aydınlığa oranını vermektedir. Gölge ve yakın çevresindeki aydınlık dağılımı düzgün olmadığında, ortalama gölge faktörü aracılığı ile belirtilen aydınlıklar arasındaki oran belli bir yakınlıkla saptanabilmektedir. Gölgenin düştüğü yüzeyin yansıtma çarpanının yüzey boyunca değişmediği koşulda söz konusu aydınlıklar arasındaki oranın ışıklılıklar arasındaki orana eşit olacağı açıktır. Bu açıklamalara bağlı olarak gölge çekirdeğinin ortalama ışıklılığı ($L_{GÇ}$) ile gölge sınırının ortalama ışıklılığı (L_{GS}: gölgesiz alanın başladığı sınır) arasındaki oran

$$1\text{-}S=L_{GÇ}/L_{GS} \text{ ya da } 1/(1\text{-}S)=L_{GS}/L_{GÇ} \quad (2)$$

eşitliği dikkate alınarak belirlenmiştir.

Gölgenin açıklık-koyuluk özelliğinin algılanması, yalnızca fiziksel büyüklükler olan gölge ve çevresinin ışıklılıkları arasındaki orana değil, bu ışıklılıkların öznel duyulanması olan parıltılar (*brightness*) arasındaki orana da bağlıdır. Bir yüzey üzerindeki ortalama aydınlık düzeyi değiştiğinde çekirdek ve çevresi arasındaki ışıklılık oranının, dolayısıyla parıltıları arasındaki oranın pek değişmemesine karşın ışıklılıkların mutlak değerleri farklılaştığı için, bu ışıklılıkların karşılıkları olan parıltılar arasındaki fark da değişir. Örneğin, bir yüzey üzerindeki ortalama aydınlık düzeyi yükseldiğinde çekirdek ve çevresi arasındaki ışıklılık oranının, dolayısıyla parıltı oranının değişmemesine rağmen, ışıklılıkların mutlak değerleri büyüdüğü için parıltılar arasındaki fark da büyür. Buna bağlı olarak, gölgenin açıklık-koyuluk tanımının, gölge sınırındaki ve gölge çekirdeğindeki ışıklılıkların parıltıları arasındaki farka dayalı olarak yapılabileceği düşünülmüştür.

2.2. Gölge Çekirdeği ve Gölge Sınırı Parıltıları Arasındaki Farkın Saptanması

Gölgenin açıklık koyuluk özelliğinin algılanmasında temel belirleyici olan ışıklılığın ruhduyumsal karşılığı parıltıdır. Belli bir ışıklılığın parıltı karşılığının belirlenmesine ilişkin literatürde yer alan çeşitli öneriler arasından Stevens tarafından geliştirilmiş olan üs yasası benimsenmiştir [**6**].

$$B=\alpha\, L^{0.33} \quad (3)$$

B: Parıltı
α: sabit
L: nesne ışıklılığı

Parıltı hesabında çekirdeğin ışıklılığı ve yarı gölge sınırının ışıklılığı dikkate alındığında, 3 numaralı eşitlik aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$B_{GÇ}=L_{GÇ}^{n} \quad (4)$$
$$B_{GS}=L_{GS}^{n} \quad (5)$$

$B_{GÇ}$: Gölge çekirdeğinin parıltısı
$L_{GÇ}$: Gölge çekirdeğinin ışıklılığı
B_{GS}: Yarı gölge sınırının parıltısı
L_{GS}: Yarı gölge sınırının ışıklılığı
n: 0.33

2.1. Bölümde belirtildiği gibi, bir gölgedeki çekirdeğin algılanan parıltısı ile çevre alanın algılanan parıltısı arasındaki fark, gölge özelliklerinin değerlendirildiği yüzey üzerindeki 'ortalama aydınlık düzeyine' bağlı olarak değişir. Bu yüzey üzerindeki ortalama aydınlık düzeyi örneğin 300 lx iken söz konusu olan parıltılar arasındaki fark aydınlık düzeyi 500 lx'e yükseltildiğinde artar. Bodmann ve La Toison'a göre, ortalama ışıklılık düzeyleri birbirinden farklı X ve Y gibi iki ayrı yüzeyden birindeki (X) L1 ve L2 ışıklılıklarının karşılıkları olan parıltılar arasındaki farkın öteki yüzeydeki (Y) L´1 ve L´2 ışıklılıklarının karşılıkları olan parıltılar arasındaki farka eşit olması için,

$$\Delta B = \Delta B' \qquad (6)$$
$$\Delta B = B(L1) - B(L2) \quad \text{ve} \quad \Delta B' = B(L'1) - B(L'2)$$

olması gereklidir [7].

Masa yüzeyindeki belirli bir ortalama aydınlık düzeyi için, gölge çekirdeğinin ve yarı gölge sınırının ışıklılıkları 4 ve 5 numaralı eşitliklere yerleştirilerek çekirdeğin ve yarı gölge sınırının parıltıları hesaplanabilir. Hesaplama sonucunda çekirdek ve yarı gölge sınırının,

- ışıklılıkları arasındaki oran ($L_{YG}/L_{Ç}$),
- parıltıları arasındaki oran ($B_{YG}/B_{Ç}$),
- parıltıları arasındaki fark ($\Delta B = B_{YG} - B_{Ç}$)

elde edilir.

ΔB nin aynı büyüklükte olduğu koşullar, gölgenin çevresi ile çekirdeği arasındaki parıltı izlenimi açısından aynı (benzer) etkiyi doğuracaktır. Bu nedenle, gölgeyi açıklık-koyuluk açısından derecelendirmek için ΔB'nin farklı değerlerinin (örneğin, ΔB=1, 1.5, 2, 2.5, 3, … gibi) hangi koşullarda ortaya çıkacağı saptanmıştır.

Bilindiği gibi, mat bir yüzeyin herhangi bir noktasındaki ışıklılık, yüzeyin ışık yansıtma çarpanı ile üzerindeki aydınlık düzeyine bağlıdır. Buna bağlı olarak, farklı ortalama aydınlık düzeylerinde ve gölgenin oluştuğu masa yüzeyine ilişkin farklı ışık yansıtma çarpanlarında ΔB'nin aynı büyüklükte olabileceği koşulların belirlenmesi gereklidir. Bu belirleme, bu çalışma kapsamında dikkate alınan en düşük ortalama aydınlık düzeyi (300 lx) ve deney hacmindeki masa yüzeyi ışık yansıtma çarpanı (0.60) dikkate alınarak yapılmıştır.

ΔB'nin aynı büyüklükte olabileceği koşulların belirlenmesinde aşağıda verilen yol izlenmiştir:

- ΔB olarak ilk aşamada 0.5 seçilmiştir.
- ΔB=0.5 olmasını sağlayacak B_{YG} ve $B_{Ç}$ değerleri araştırılmıştır. Bunun için, $B_{Ç}$ ye 0.1, 0.2 ,0.3 … gibi gittikçe büyüyen değerler verilmiş, bu değerlere 0.5 eklenerek B_{YG} için 0.6, 0.7, 0.8 … gibi gittikçe büyüyen değerler elde edilmiştir.

- Belirlenen B_{YG} ve $B_Ç$ parıltılarını doğuracak L_{YG} ve $L_Ç$ ışıklılıkları hesaplanmıştır. Bu amaçla önce B_{YG} aracılığı ile L_{YG} hesaplanmış, ardından B_{YG}, $B_Ç$ ve L_{YG} kullanılarak $L_Ç$ saptanmıştır.
- L_{YG} ve $L_Ç$ ışıklılıklarını sağlayacak aydınlık düzeyleri E_{YG} (yarı gölge sınırındaki ortalama aydınlık düzeyi) ve $E_Ç$ (çekirdek gölgedeki ortalama aydınlık düzeyi) hesaplanmıştır. Deney hacmindeki masa yüzeyinin ışık yansıtma çarpanının 0.60 olması nedeniyle hesaplamalarda gölgenin oluştuğu yüzeyin ışık yansıtma çarpanı 0.60 alınmıştır.
- $L_{YG}/L_Ç$ ve $B_{YG}/B_Ç$ oranları belirlenmiştir.
- B_{YG} ve $B_Ç$ için başlangıçta 0.1 aralıklarla ele alınan değerlerin alt sınırını belirleyebilmek için, çalışmada hedeflenen ortalama aydınlık düzeyi basamaklarından en düşüğü (300 lx) dikkate alınmıştır.
- Bir yüzey üzerindeki ortalama aydınlık düzeyinin 300 lx olduğu koşulda, bu yüzey üzerindeki maksimum aydınlık düzeyi ≥300 lx olur. Bu nedenle, E_{YG} nin de en az 300 lx olabileceği kabul edilmiştir. $E_Ç$ açısından da bir alt sınır değer belirlenmesi gerekmiştir. Bunun için en koyu gölge tanımına uygun olarak 0 lx alınmıştır.
- E_{YG}=300 lx olması durumu için, $E_Ç$ niceliği 0 lx'e düşünceye kadar gittikçe büyüyen ΔB değerleri (0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, …) ele alınarak yukarıdaki işlemler yinelenmiştir. $E_Ç$ =0 lx olduğunda ΔB=3.72 bulunmuştur.
- Gölgenin düştüğü yüzeye ilişkin yansıtma çarpanı değiştikçe ΔB üst sınırı da değişmektedir. Buna bağlı olarak, her yansıtma çarpanı için gölgenin açıklık koyuluk derecelendirmesinin ayrı ayrı yapılması gerektiği görülmüştür. Gölgenin düştüğü yüzeyin yansıtma çarpanı küçüldükçe, yarı gölge ile gölge çekirdeği arasındaki ışıklılık oranı değişmemesine karşın ΔB küçülmekte, yani gölge ile çevresi arasındaki karşıtlık daha az olmaktadır. Bir başka deyişle, gölgenin etkisi azalmakta, daha açık olarak algılanmaktadır. Yüzey yansıtma çarpanı düştükçe, aynı ΔB'nin daha büyük parıltı ve ışıklılık oranları ile ortaya çıkacağı açıktır.
- Aydınlık düzeyi yükseldikçe, yarı gölge ile gölge çekirdeği arasındaki ışıklılık oranı değişmemesine karşın ΔB büyümekte, yani gölge ile çevresi arasındaki karşıtlık daha fazla olmaktadır. Bir başka deyişle, gölgeler daha koyu algılanmaktadır. Aydınlık düzeyi yükseldikçe, düşük aydınlık düzeyindeki ΔB ile eş büyüklükteki ΔB, daha küçük ışıklılık oranları ile elde edilebilmektedir.
- Çeşitli standartlarda bürolarda çalışma masalarının yansıtma çarpanları ile ilgili alt ve üst sınırlar 0.20-0.50 olarak belirlenmiştir. Ancak, kullanım halindeki bürolar incelendiğinde yansıtma çarpanının 0.50'den yüksek olduğu daha açık renkli masalara da rastlanmaktadır. Bu yüzden, 0.2-0.7 arasındaki farklı yansıtma çarpanı değerleri için ΔB sınır değerleri hesaplanarak Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1: Farklı yüzey yansıtma çarpanları için ΔB sınır değerleri

Yansıtma çarpanı	ΔB sınır değerleri
0.2	0 – 2.59
0.3	0 – 2.96
0.4	0 – 3.25
0.5	0 – 3.50
0.6	0 – 3.72
0.7	0 – 3.91

2.3. Gölgenin Açıklık-Koyuluk Açısından Derecelendirmesi

Açıklık-koyuluk derecelendirmesinde, parıltı farkının belirlenmesine yönelik yukarıda açıklanan yaklaşımdan hareket edilerek, gölgenin düştüğü yüzeyin ışık yansıtma çarpanının 0,60 olması durumu için ortaya çıkabilecek parıltı farkına (ΔB) ilişkin hesaplanmış olan sınır değerler ele alınmıştır. Bu sınır değerler, hiç gölgenin oluşmadığı duruma karşılık gelen '0' ile gölgenin üzerindeki aydınlık düzeyinin sıfır olduğu duruma karşılık gelen '3.72' dir (ΔB= 0-3.72). On adımdan oluşan bir derecelendirme yapabilmek için, parıltının saptanan sınır değerleri arasındaki fark on eşit adıma bölünmüştür (3.72-0=3.72/10) (**Çizelge 2, Kolon 2**). Çizelgenin ilk kolonuna derecelendirmenin 1-10 arasındaki adımları yerleştirilmiştir.

Çizelge 2: Açıklık-koyuluk derecelendirmesi

Derece	Duyulanma ΔB	Açıklık-koyuluk tanımı
1	> 0 - ≤ 0.37	Çok açık gölge
2	0.37 - ≤ 0.74	Açık gölge
3	0.74 - ≤ 1.12	Az açık gölge
4	1.12 - ≤ 1.49	Orta açıklıkta gölge
5	1.49 - ≤ 1.86	Orta açıklık-koyulukta gölge
6	1.86 - ≤ 2.23	Orta açıklık-koyulukta gölge
7	2.23 - ≤ 2.60	Orta koyulukta gölge
8	2.60 - ≤ 2.98	Az koyu gölge
9	2.98 - ≤ 3.35	Koyu gölge
10	3.35 - ≤ 3.72	Çok koyu gölge

3. SONUÇ

Gölgelerin varlığı, bir hacimdeki nesnelerin biçimsel ve üç boyutlu dokusal özelliklerinin rahat ve eksiksiz algılanmasında önemli rol oynar. Özellikle, yumuşak ve aydınlanarak açıklaşmış gölgeler birçok işlev için görsel konforun oluşmasına katkıda bulunur. Gölge niteliğinin bir

aydınlatma tasarım ölçütü olarak değerlendirmeye alınabilmesi için gerek sertlik-yumuşaklık gerekse açıklık-koyuluk açısından belirlenebilmesi ve değerlendirilebilmesi gereklidir.

Bu çalışmada, gölgenin açıklık-koyuluk boyutunun gölge çekirdeği parıltısı ile toplam gölge sınırındaki parıltı arasındaki farka bağlı olarak tanımlanmasına karar verilmiştir. Gölgenin açıklık-koyuluğu ile ilgili gölge çekirdeği ve toplam gölge sınırı ışıklıklarının fiziksel uyartılar olduğu, gölgenin görsel algısında bu fiziksel uyartıların karşılığı olan duyulanmaların rol oynadığı düşünülmüştür. Açıklık-koyuluk tanımında, gölge ve çevresinin ışıklılıklarının karşılığı olan parıltılar arasındaki farka dayanan bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu çalışmada ele alınan en düşük ortalama aydınlık düzeyi (300 lx) ve masa yüzeyi ışık yansıtma çarpanı (0.6) koşulları için, gölge çekirdeği ile gölge çevresi arasında olabilecek parıltı farkına (ΔB) ilişkin sınır değerler '0-3.72' olarak belirlenmiştir. Gölgenin açıklık-koyuluk boyutu, sertlik-yumuşaklık boyutunda olduğu gibi,1-10 arasında derecelendirilmiştir **[8]**. Duyulanma esaslı yapılan derecelendirmede en açık gölge '1', en koyu gölge '10' ile ifade edilmiştir.

Gölgede açıklık-koyuluk belirlemesi ve değerlendirmesi yapmak üzere geliştirilen yaklaşıma göre;

- Aydınlık düzeyi yükseldikçe gölgeler daha koyu algılanmaktadır.
- Gölgenin düştüğü yüzeyin yansıtma çarpanı küçüldükçe, gölgenin etkisi azalmakta ve daha açık olarak algılanmaktadır.

Deney hacminde gerçekleştirilen çeşitli aydınlatma senaryolarında ortaya çıkan birbirinden farklı gölge özelliklerini görsel açıdan değerlendirebilmek için çalışmanın üçüncü adımında kapsamlı bir anket uygulanmış ve deneklerin açıklık-koyuluk ve sertlik-yumuşaklık izlenimleri sayısal olarak belirlenmiştir. Denekler tarafından yapılan sertlik-yumuşaklıkla ilgili değerlendirmenin çalışmanın birinci aşamasında geliştirilen yaklaşıma göre yapılan derecelendirme ile; açıklık-koyulukla ilgili değerlendirmenin de bu bildiride tanıtılan yaklaşım uyarınca yapılan derecelendirme ile uyum içinde olduğu saptanmıştır.

KAYNAKLAR

1. Ş. Aydın Yağmur, "Lamba Işığı İle Aydınlatmada Gölge Niteliğinin Belirlenmesi ve Tasarım Kriteri Olarak Değerlendirilmesi İçin Bir Yaklaşım", YTÜ FBE Doktora Tezi, İstanbul, 2012.
2. L. Dokuzer Öztürk, Ş. Aydın Yağmur, Lamba Işığı İle Aydınlatmada Gölge Niteliğinin Belirlenmesi ve Tasarım Kriteri Olarak Değerlendirilmesi İçin Bir Yaklaşım, YTU, BAPK, Proje no: 2011-03-01-DOP01, İstanbul, 2012.
3. Ş. Aydın Yağmur, L. Dokuzer Öztürk, "Investigation of the Shadow Quality Occurred in Interiors Under Artificial Lighting", The 27th Sesssion of the CIE, Sun City, South Africa, 2011.
4. L. Dokuzer Öztürk, Bestimmung des Guten Sehwirkungsgrads, Lux Europa 2005, 366-369, Berlin, Germany, 19-21 September 2005.
5. Y. Ohtani,, (1979) "Shadow characteristics under various light sources - in the case of a horizontal disk as a shadow caster-", Journal of Light & Visual Environment, 3(1): 42-51.
6. S. S. Stevens, (1975) Psychophysics: introduction to its perceptual, neural and social prospects, John Wiley & Sons, USA.
7. H. W. Bodmann, M. La Toison, (1994), "Predicted brightness luminance phenomena", Lighting Research and Technology, 26 (3):135-143.
8. Ş. Aydın Yağmur, L. Dokuzer Öztürk, Gölgenin Sertlik-Yumuşaklık Özelliğinin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Yaklaşım, 9. Ulusal Aydınlatma Kongresi, 261-268, İstanbul, 19-20 Nisan 2013.

KUMAŞ KAPLAMALARININ HOMOJENLİĞİNİN GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMİ İLE HARİTALANDIRILMASI

Doç. Dr. Şemsettin Kılınçarslan[a]
Y. Doç. Dr. İ.Serkan Üncü[b]
Hakan Atsatan[c]
Prof. Dr. İskender Akkurt[d]
Y. Doç. Dr. Feyza Akarslan [e]
[a]Süleyman Demirel Üniv., Mühendislik Fak., İnşaat Böl. 32260 Isparta
[b,c]Süleyman Demirel Üniv., Teknoloji Fak., Elektrik-Elektronik Müh. Böl. 32260 Isparta
[d]Süleyman Demirel Üniv., Fen Edebiyat Fak., Fizik Böl. 32260 Isparta
[e]Süleyman Demirel Üniv., Mühendislik Fak., Tekstil Böl. 32260 Isparta

ÖZET

Kumaş kaplama geçmişten günümüze kadar hızla gelişen bir sektördür. Kumaş kaplama yöntemi kullanılarak sıradan kumaşlara spesifik özellikler eklenebilmektedir. Kumaş kaplamada amaç; polimer bir tabakanın bir kumaşın dış yüzeyine nüfuz ederek kumaşın fiziksel ve karakteristik özelliklerinin önemli ölçüde değiştirmesidir. Kaplama işleminde temel olarak hedeflenen iş kumaşın her bir bölgesinin eşit miktarda kaplanmış olmasını sağlamaktır. Kumaşın her bir bölgesinin homojen olarak kaplanabilmesi için doğrusal bir ışık kaynağından gelen ışığın kaplamadan hangi oranda geçtiğinin incelenmesi sağlanmıştır. Işık kaynağıyla kumaşa göre simetrik olarak yerleştirilen kamera ışığın hangi oranda geçtiğini algılamaktadır. Kameradan gelen veriler histogram yardımıyla işlenerek gelen ışık miktarı tespit edilmiştir. Işık miktarına göre bir haritalandırma gerçekleştirilerek çok ışık geçiren noktalar kırmızı az ışık geçiren noktalar mavi renkle gösterilmiştir. Elde edilen bu veriler kullanılarak kaplamanın az olduğu noktalar püskürtme tabancası ile noktasal olarak tekrar kaplanmıştır. Geliştirilen sistemle kumaşların radyasyon ışınlarını geçirmesini engelleyen bir karışım oluşturulmuş ve bu karışım elde edildikten sonra kumaşın her bölgesine püskürtme tabancası yardımı ile eşit olarak püskürtülmüştür.
Anahtar sözcükler: Histogram, Kaplama, Radyasyon

ABSTRACT

Covering is an industry that has been improving from the past to today's world. Some specific features can be added to ordinary fabric with the technique of covering. The goal of the covering is providing the change of physical and characteristic features of a fabric considerably via penetrating polymer layer to exterior surface of a fabric. The basic goal of the covering is providing to cover every area of the fabric equally. To cover every part of the fabric, it is provided that examining the rate of the light which is coming from linear light source. The camera which is placed symmetric to both the source of light and the fabric can sense the rate of the light. With the help of the histogram, the data coming from the camera can be processed and so, the rate of the light can be measured. Implementing the mapping according to the rate of the light, the areas transmission of large amount of light are marked with red, the areas transmission of too few light are marked with blue. By using this data, the areas which are less covered can be covered again with spray gun. With this system, a mixture that inhibits the radiation transmission of the fabrics is generated and after that, it is sprayed to every areas of the fabric equally with the help of spray gun.
Key words: Histogram, Covering, Radiation

[a] e-posta adresi: semsettinkilincarslan@sdu.edu.tr
[b] e-posta adresi: serkanuncu@sdu.edu.tr
[c] e-posta adresi: hakan0819@gmail.com
[d] e-posta adresi: iskenderakkurt@sdu.edu.tr
[e] e-posta adresi: feyza@mmf.sdu.edu.tr

1.GİRİŞ

Tekstil üretim proseslerinde, tüketici ihtiyaçlarını karşılamak ve geleceğe yönelik yeni kullanım alanları geliştirmek amacıyla; tekstil malzemelerinin fonksiyonel ve performans özelliklerinin kazandırılmasında kaplama ve laminasyon teknolojileri kullanılmaktadır. Kaplama ve laminasyon yöntemi ile geçmişte rüzgâr ve diğer hava koşullarından korunmak için tekstil yüzeyinin bir ya da iki yüzünü polimer bir madde ile kaplayarak geçirgenlik özelliklerini azaltan bir yüzey oluşturulmaktaydı. Günümüzde ise; estetik ve dekoratif özelliklerin yanında tekstil ürünlerinin teknik veya işlevsel özelliklerinin artırılmasına yönelik üretilen koruyucu ve spor tekstillerinde özellikle yüksek performans, sağlamlık, konfor gibi parametrelerin önemli olduğu yerlerde modern kaplama ve laminasyon teknolojileri kullanılmaktadır [**1**].

Poliüretan ve poliakrilat kaplamanın kumaşların çeşitli performans özellikleri üzerine etkilerini ham ve florokarbon reçine emdirilmiş kumaşlara yapıldığı durumlarda incelemişlerdir [**2**]. Koruyucu teknik tekstiller, insan hayatı için tehdit oluşturan zararlı maddeler ve kötü çevre koşullarına karşı koruma amaçlı giysiler, örtüler, çadırlar ve ekipmanlardan oluşmaktadırlar. Dünyada birçok iş yerinde, çalışanların, sağlıklarının ve güvenliklerinin tehlikede olması nedeniyle, koruyucu giysi kullanılmasını zorunlu kılan uluslararası ve yerel yasal düzenlemeler sıkılaştırılmıştır. Koruyucu giysi kullanımını gerektiren sektörlerde koruyucu giysilerin kullanılması yönünde bilinç artmaktadır. Yukarıda bahsedilen unsurların yanı sıra, dünyadaki mevcut savaşlar ve savaş tehlikesinin daima var olması, koruyucu giysi kullanımını gerektiren sektör ve iş kollarındaki gelişmeler gibi etkenler, sektöre olan talebi belirleyen en önemli faktörlerdir [**3**].

Son yıllarda bilgisayar teknolojindeki gelişmelere paralel olarak görüntü alma teknolojisin gelişmesi, görüntü işleme metotlarının ölçüm ve gözlem yöntemi olarak çeşitli disiplinlerde kullanımını arttırmıştır. Görüntü işleme tekniklerinin kullanım alanlarının artmasının doğal sonucu olarak, görüntü işleme ve analiz teknikleri yoğun olarak araştırılmış ve yeni birçok teknik endüstriyel anlamda kendine uygulama alanı bulmuştur. Görüntü İşleme kaydedilmiş olan elektronik (dijital) görüntü verilerini, elektronik ortamda (bilgisayar ve yazılımlar yardımı ile) amaca uygun şekilde değiştirmeye yönelik yapılan bilgisayar çalışmasıdır [**4**].
Görüntü işleme, genel terim olarak resimsel bilgilerin manipülasyonu ve analizi demektir. Bu analizde takip edilen bazı temel aşamalar şu şekilde özetlenebilir: Birinci aşama, görüntü edinme işlemidir. Diğer adım ön işlemedir. Bu aşamada, alınan görüntü bir sonraki aşamada hatasız ve kolay işlenebilmesi için daha belirgin ve anlaşılır hale getirilir. Bu işlemlerden bazıları:

- Görüntüyü belirginleştirmek
- Görüntüde bulunan kirlilikleri filtrelemek
- Görüntü üzerindeki yapısal bozuklukları yok etmek veya minimize etmek

Daha sonraki işlem ise görüntüyü, kendisini meydana getiren alt görüntülere parçalama, ayırma işlemidir. Buna, görüntü ayırma işlemi ya da segmentasyon işlemi denir. Detaylı görüntü ayırma işlemleri, görüntü işlemede en zor işlemlerden sayılır. Bu nedenle genellikle küçük hatalarla birlikte kaba görüntü ayırma işlemleri uygulanır [**5**].

Çok tabakalı kaplama yöntemi koruyucu giysilerin üretimi için fonksiyonel tekstiller hazırlama konusunda nanokompozit tekstil liflerinin kolay hazırlanması için yeni bir yöntem olarak ortaya çıkmaktadır. Çok tabakalı kaplama yöntemi polielektrolitlerin yüklü nanopartiküllerin ve reaktif

olmayan boyarmaddelerin kontrollü bir şekilde nanotabakalara depolanması ile tekstil liflerinin yüzey özelliklerini geliştirme olanağı sunmaktadır.[**6**]

2. KULLANILAN MATERYAL VE YÖNTEM

Kumaş kaplama, geçmişten günümüze kadar kullanımı olan ve hızla gelişen bir sektördür. Yeni gelişmeler ve araştırmalar ışığında kaplama ürünlerin performans özellikleri gelişmekte ve sonuç olarak bu ürünlerin kullanım alanları giderek artmaktadır. Bina içerisinde kumaş benzeri ürünler gürültü ve radyasyona karşı koruma yapmak amacıyla kaplama yapılarak da kullanılmaktadır. Yapı fiziği açısından kaplama özellikleri radyasyon geçirgenliği kumaş üzerindeki kaplamanın homojenliğine bağlıdır. Hazırlanan sistemle kumaş üzerine kaplanan maddelerin homojen olarak dağılımını görüntü işleme ile tespiti gerçekleştirilmektedir. Kaplama ve laminasyon yöntemi ile geçmişte rüzgâr ve diğer hava koşullarından korunmak için tekstil yüzeyinin bir ya da iki yüzünü polimer bir madde ile kaplayarak geçirgenlik özelliklerini azaltan bir yüzey oluşturulmaktaydı. Günümüzde ise; estetik ve dekoratif özelliklerin yanında tekstil ürünlerinin teknik veya işlevsel özelliklerinin artırılmasına yönelik üretilen koruyucu ve spor tekstillerinde özellikle yüksek performans, sağlamlık, konfor gibi parametrelerin önemli olduğu yerlerde modern kaplama ve laminasyon teknolojileri kullanılmaktadır.

Kumaş kaplamada amaç; polimer bir tabakanın bir kumaş dış yüzeyine nüfuz ederek kumaşın fiziksel ve karakteristik özelliklerinin önemli ölçüde değiştirilmesidir. Tekstil kaplamacılığı sayesinde kumaşı oluşturan lifler ile kumaşa kazandırılmayacak özelliklerin, düzgün bir polimer maddenin mamule aktarılması ile kazandırılır. İyi bir kaplama için kaplama yapılacak kumaşın temiz, düzgün yüzeyli, sık yapılı ve çekmez olması önemlidir. Geliştirilen sistemle kumaşların radyasyon ışınlarını geçirmesini engelleyen bir karışım oluşturulmuş ve bu karışım elde edildikten sonra kumaşın her bölgesine püskürtme tabancası yardımı ile eşit olarak püskürtülmüştür.

2.1. Doğrusal Işık Kaynağı

Doğrusal ışık kaynağı, ışığın dağılmasını önleyecek merceksel ayarlamalarının yapılmış olduğu, düştüğü her noktada aynı aydınlatma değerine sahip olan bir ışık kaynağıdır. Kaynaktan çıkan ışığın dağılmaması projede kilit bir öneme sahiptir. Aksi takdirde kaplanmış kumaştan geçecek olan ışık miktarları gelen ışığın açısal bozulmalarından etkileneceğinden kararlı ölçümler yapmayı engelleyecektir. Işık kaynağı ile eş zamanlı ve simetrik bir şekilde hareket eden kamera kaplanmış kumaştan geçecek olan ışık miktarını ve kumaşın hangi koordinatında bulunduğunu eş zamanlı olarak sisteme bildirmiştir. Kameradan gelen görüntüyü işleyen yazılım algılanan ışık miktarını histogram yöntemi ile işleyerek ışık miktarının ortalama değerini almış ve bu değeri kumaşın bulunduğu koordinatına kaydetmiştir.

2.2. Kaplama Düzeneği

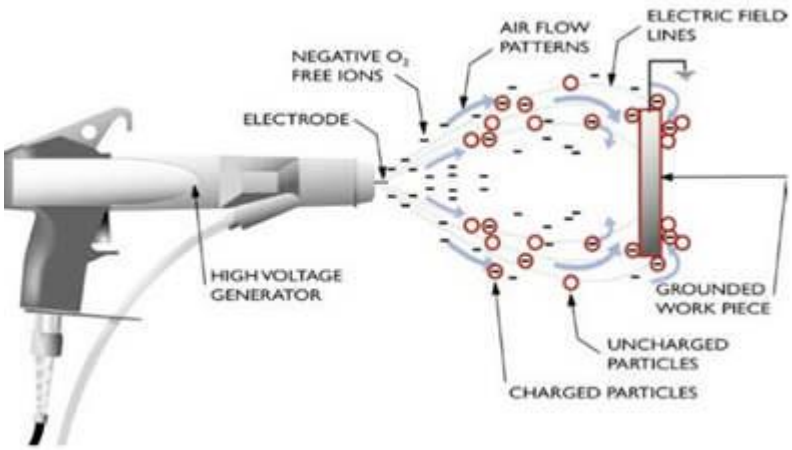
Homojen kaplamayı sağlamak ve santimetre kareye düşecek madde miktarını standarda ulaştırmak için çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bunun için püskürtme kaplama yöntemi uygulanmasının uygun bir yöntem olacağı belirlenmiştir. Püskürtme sistemini gerçekleştirecek düzenek hazırlanmıştır. İki adet step motor kullanılan sistemde kumaşın ve püskürtme

tabancasının hareketleri geliştirilen yazılım ile kontrol edilmiştir. Kurulan düzeneğin resmi **Şekil 1**' de gösterilmiştir.



Şekil 1. Kaplama Düzeneği

Kumaşın kaplanmasında elektrostatik kaplama yönteminin uygun olduğu tespit edilmiştir. Elektrostatik kaplama yöntemi **Şekil 2**' de gösterilmiştir.



Şekil 2. Elektrostatik Kaplama Tabancası

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Yapılan çalışmalarda ışık geçirgenliğine bağlı olarak renk ataması yapılabilmesi için bir eşik değeri belirlemek ve bu eşik değerinin altı ışık geçirmez, üst değerleri ise ışık geçirir olarak belirlemek gerekmektedir. Bu eşik değerini belirlemek amacıyla histogram değerlerinden yararlanılmıştır. Histogram ortalama değeri ile eşik değeri belirlenmiştir. **Şekil 3**'de kaplama yöntemiyle elde edilen kumaş gösterilmiştir.



Şekil 3. Kaplama yöntemi ile üretilen baritli kumaş

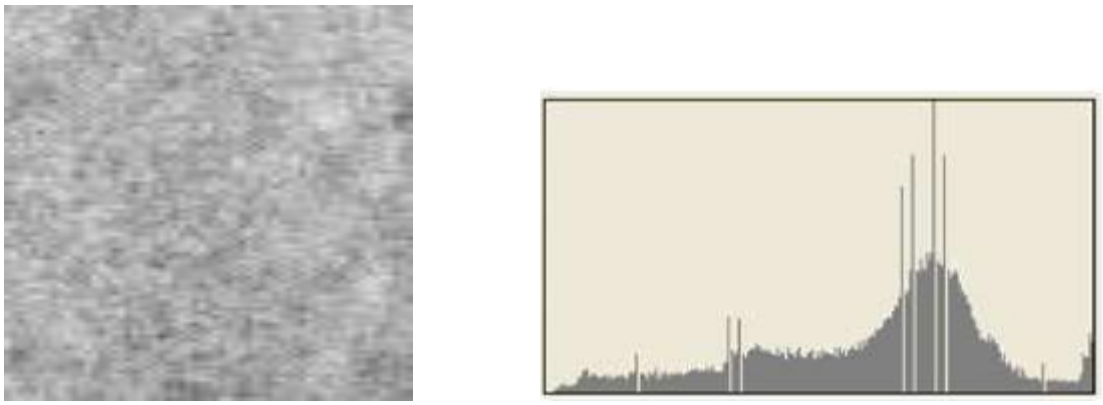
3.1 Histogram Çıktıları

Barit kaplanarak elde edilen kumaşların ışık geçirme testleri sonucu alınan kesitler Histogram isimli görüntü işleme programına aktarılmıştır. Görüntüler üzerinde yapılan analiz sonucunda bir dizi sayısal değerler elde edilmiştir. Görüntü işleme programı, elde edilen sayısal verileri ayrıca grafiksel olarak da göstermektedir. **Çizelge 1**'de Kaplanmış alpaka kumaş histogram analiziyle elde edilen en yüksek piksel numaraları gösterilmiştir.

Çizelge 1. Kaplanmış alpaka kumaş histogram analiziyle elde edilen en yüksek piksel numaraları

4 Kat Kaplanmış Alpaka Kumaş		**3 Kat Kaplanmış Alpaka Kumaş**		**2 Kat Kaplanmış Alpaka Kumaş**		**1 Kat Kaplanmış Alpaka Kumaş**		**Kaplanmamış Alpaka Kumaş**	
Piksel No	**Sayısal Değer**	**Piksel No**	**Sayısal Değer**	**Piksel No**	**Sayısal Değer**	**Piksel No**	**Sayısal Değer**	**Piksel No**	**Sayısal Değer**
1	403	**14**	162	**58**	211	**113**	104	**168**	147
2	2972	**15**	247	**59**	193	**114**	117	**169**	121
3	1848	**16**	302	**60**	212	**115**	114	**170**	121
4	933	**17**	337	**61**	168	**116**	130	**171**	148
5	1	**18**	398	**62**	179	**117**	121	**172**	142
6	1	**19**	397	**63**	175	**118**	123	**173**	121
7	1	**20**	430	**64**	191	**119**	131	**174**	156
8	0	**21**	405	**65**	158	**120**	129	**175**	139
9	1	**22**	418	**66**	198	**121**	128	**176**	144
10	1	**23**	375	**67**	165	**122**	116	**177**	143
11	0	**24**	343	**68**	136	**123**	127	**178**	150

Kaplanan kumaştan alınan görüntünün işlenmemiş hali görüntü işleme yöntemi ile analiz edilmiştir. Önce görüntünün renksel değerleri gri skalaya dönüştürülmüş ardından görüntünün histogram grafiği oluşturulmuştur. Bu görüntüde ışığı az geçiren noktalar grafiğin sağ tarafında değerler alırken çok geçiren noktalar sol tarafta değerler almıştır. Görüntü ve grafik **Şekil 4**'te de gösterilmiştir.



Şekil 4. Kaplanmış alpaka kumaş dijital görüntü kesiti ve Gri Skala histogram grafiği

3.2 Wavelet Çıktıları

Sinyaller ve resimler gibi yumuşatılma özelliklerine sahip olan fonksiyonlarda, fonksiyonu gürültüden arındırmak için Wavelet yöntemi optimal veya optimale yakın sonuçlar vermektedir. Özellikle, metot yalnızca birkaç adet sıfırdan farklı dalgalanma katsayısına sahip fonksiyonlarda etkilidir. Bu fonksiyonlar seyrek dalgalanma göstermektedirler. Genel olarak dalgalanma tabanlı ve parametrik olmayan gürültü azaltma metotları veriyi Wavelet Domainine çevirir, Wavelet katsayısı için eşik değeri bulur ve dönüşümü tersine çevirirler.
Bu işlemleri adım adım sayarsak.

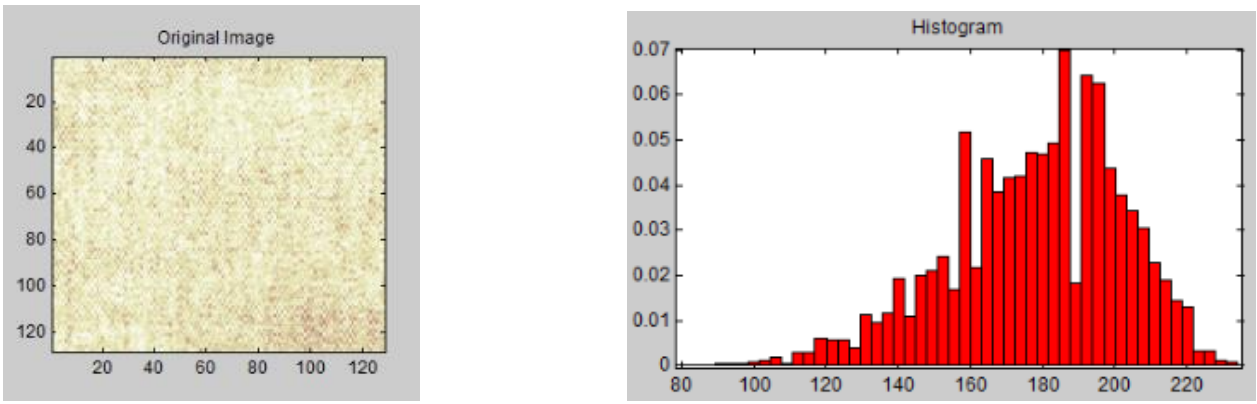
- Ayrıştırma: Bir gürültü ve N ayrıştırma seviyesi seç. Gürültüyü s sinyalinden N seviye boyunca ayrıştır.
- Detay Katsayısı Eşikleme: 1 den N e kadar her seviye için, detay katsayısını hesapla.
- Yeniden Kurma: 1 den N e kadar Wavelet gürültü azaltma yöntemi için yaklaşım katsayılarını hesapla ve detay katsayısına göre modifiye et.

Wavelet Denoising yöntemi için Eşikleme değerin belirlerken farklı yöntemler bulunmaktadır. Bunlar:
'Rigrsure' : Stein's Unblashed Risk Estimate(SURE) prensibi kullanarak belirleme
'sqtwolog': Evrensel eşikleme
'heursure': İlk iki yöntemin birlikte kullanılması
'minimaxi': Minimaxi prensibine göre belirleme
Belirlenen eşikleme değerinin uygulanmasında ise sert ve yumuşak eşikleme olarak iki farklı yöntem bulunmaktadır. Bunlar verini iki veya üç değer almasına göre ayrılmaktadır. Görüntü üzerinde gürültü giderme işleminin sinyal üzerinde gürültü giderme işleminden tek farkı 1- D yerine 2-D olmasıdır.

Bunu da:

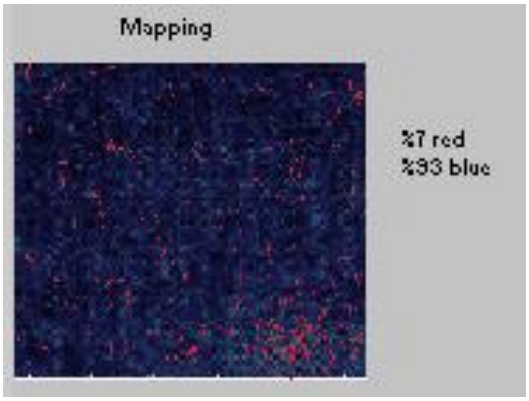
$$S(i,j)=f(i,j)+se(i,j) \quad (1)$$

Şeklinde gerçekleştirmektedir. Burada s(i,j) gürültülü resim, f(i,j) temiz resim ve se(i,j) ise gürültüdür.
Gürültü temizleme işlemleri sinyal üzerinde gürültü temizleme işlemleri ile aynıdır.



Şekil 5. Kaplanmış Kumaştan Alınmış Görüntü Kesiti ve Histogram Grafiği

Aynı görüntüden alınan kesitin Wavelet Denoising filtreleme işlemi ile gürültülerden ayırıldığı resim **Şekil 5**'de gösterilmiştir. Alınan bu görüntünün Wavelet ara yüzü kullanılarak çıkarılan histogramından elde edilen görüntü aynı şekilde gösterilmiştir.



Şekil 6. Kaplanmış Kumaştan Alınmış Görüntü Kesiti ve Haritalanması

Kaplanmış olan kumaşın görüntüsündeki renk eşik değerine göre atama yapılarak mavi ve kımızı değerler elde edilmiştir. **Şekil 6**'da kaplanmış kumaştan alınmış görüntü kesiti ve haritalanması gösterilmiştir. Kırmızıların dağılımı ile mavilerin dağılımları oranlandığında elde edilen oran kumaşın ışık geçirme oranını vermektedir. İki kumaş kıyaslandığında kırmızı alanların azlığı homojenliğin fazla olduğunu gösteren bir göstergedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada gerçekleştirilen işlem ise kaplamanın homojenlik oranın ölçülmesidir. Bu ölçümün gerçekleştirilebilmesi için görüntü işleme yönteminden yararlanılmıştır. Kaplanan kumaş altına yerleştirilen doğrusal ışık kaynağı kullanılarak kumaşın ışığı hangi oranda geçirdiği kamera ile analiz edilmiştir. Homojen kaplama ile tüm yüzey için geliştirilecek olan etki ayrı noktalarda aynı değerde olması beklenmektedir. Bu amaçla görüntü işleme teknikleri kullanılarak kumaş altında

diffüse ışık kontrollü bir düzenek hazırlanmış olup ışık kumaşın yatayda her noktasında hareket ettirilip karşısına yerleştirilmiş olan kameradan tüm yüzey noktaları için ışık geçirgenliği ölçülmüştür. Ölçüm yöntemi olarak histogram grafikleri kullanılmıştır. Histogram grafikleri için kamera ile alınan renk değeri ortalaması hazırlanan yazılım ile veri tabanına kayıt edilmiştir. Bu kayıtlar kumaşın sanal ortamında yüzey noktalarına göre hazırlanan haritasının içerisine renk bandı ile yerleştirilerek bilgisayar ortamında kumaşın homojenliği belirlenebilecektir. Hazırlanan renk haritasına atanan renkler mavi bölgelerde en az geçirgenliğin olduğu kırmızı bölgelerde ise en fazla olduğu şeklinde bir çıktıya sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Geliştirilen yazılım ile kumaş üzerindeki kaplama homojenliği karşılaştırabilecek bir ölçek elde edilmiştir. Sistem kaplama ile ilgili diğer alanlarda kullanılabilir çıktılara sahiptir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 112M373 nolu TÜBİTAK projesi tarafından desteklenmektedir. Yazarlar, desteğinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

1.W. Fung, "*Coated and Laminated Textiles"*, The Textile İnstitue, Woodhead Publishing Limited, England, 2002.

2. L.L. Beranek, "Criteria for noise and vibration in communities, buildings, and vehicles," Chap. 17 in *Noise and Vibration Control Engineering-Principles and Applications,* edited by Leo L. Beranek and Istvan L. Ver Wiley, New York, (1992), pp: 245.

3. I. Tarakçıoğlu vd., "*Teknik Tekstiller ve Kullanım Alanları (Bölüm 2)*" Tekstil ve Konfeksiyon 3/2007 s. 154-161.

4. Yülek, G,, "*Radyasyon Fiziği ve Radyasyonda Korunma*", SEK Yayınları No:14, Ankara,1992, 198s.

5. Castelman, R. K., "*Digital Image Processing*", Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1996.

6. Ş. S. Uğur, M. Sarıışık, A.H. Aktaş, "*Pamuklu Kumaslarda Antibakteriyel Amaçlı ZnO Nanopartikül İçeren İnce Filmlerin Olusturulması", Süleyman Demirel Üniversitesi,* Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 14-1(2010),95-103

7. Yaman K., Sarucan, A., Atak, M. ve Aktürk, N., "*Dinamik Çizelgeleme İçin Görüntü İşleme Ve Arıma Modelleri Yardımıyla Veri Hazırlama*", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., C. 16/1, S.19-40, 2001.

8. F.D. Kadem, A. Ergen, "*Farklı Membranlı Laminasyonlu Kumaşların Mukavemetlerinin Araştırılması*", Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 26(2), ss. 1-8, Aralık 2011

AYDINLATMA TASARIMININ MAĞAZA İMAJI ÜZERİNE ETKİLERİ

Y.Doç.Dr. Rana Kutlu[a]
Doç.Dr. Banu Manav[b]
İKÜ Sanat ve Tasarım Fakültesi
Ataköy Kampüsü, Bakırköy, İstanbul, 34156

ÖZET

Çalışmada kurum kimliğinin iç mimari tasarıma etkileri incelenerek özellikle mağazalarda marka imajının mekana yansıması konusunda aydınlatma ve rengin tasarıma etkileri tartışılmıştır. Bildiri, mağaza tasarımında 2 önemli uyaranın; ışık ve rengin çevresel algıya etkilerini ölçmek üzere 121 adet katılımcı ile gerçekleştirilen deneysel bir çalışmayı ve sonuçlarını içermektedir. Mağazanın kimliği ve kullanıcı tarafından algılanan imajında ışık ve renk önemli iki etkendir. Bu nedenle, mekanda renk tercihleri ve aydınlatma planının tüketicilerin bilişsel hafıza ve mağaza memnuniyetleri üzerine etkilerini ölçmek üzere Dört Köşe Yöntemi kullanılarak yürütülen çalışma, kullanıcı anketleri ile desteklenmiştir.

Anahtar sözcükler: Renk, Işık, Kurum Kimliği, İmaj Algısı, Dört Köşe Yöntemi

ABSTRACT

In this study, it is aimed to find out the brand identity in interior design, especially the effects of color and lighting scheme at brand image, store. This paper presents an experimental study by 121 participants with a special emphasis on the influence of color and light on environmental perception in retail design. The perceived image and identity of a store are affected strongly by color and light, for this reason a survey is conducted to measure the perception of the color preferences and lighting scheme in the space in regard to the cognitive memory of customers and store satisfaction by using square method.

Keywords: Color, Light, Brand Identity,Image Perception, Square Method

[a] e-posta adresi: r.kutlu@iku.edu.tr
[b] e-posta adresi: b.manav@iku.edu.tr

1.GİRİŞ

Yapma çevrenin özellikleri mekan atmosferini etkilemektedir. Mağaza iç mekan tasarımında müşteri memnuniyeti ve mekana karşı reaksiyonu bütüncül bir yaklaşım içerisinde ele alınmalıdır. Flynn **[1]**, Beltcher **[2]** gibi çevresel psikoloji üzerine araştırma yapan uzmanlar, aydınlatma koşullarındaki en küçük değişimlerin bile mekandaki duygusal ifade, atmosfer üzerinde etkili olduğunu ifade etmektedirler.

İyi tasarlanmış bir aydınlatma tasarımı ve renk kompozisyonu kullanıcıların mekan ile olan etkileşimlerini, sosyal, davranışsal durumlarını, problem çözme süreçlerini dahi etkilemektedir **[3, 4]**. Aydınlatma tasarımı, görsel algının ötesinde, tüketicilerin üzerinde bilişsel, duygusal ve biyolojik etkilere de sahiptir **[5]**. Mağaza tasarımında başarılı bir aydınlatma tasarımı ve renk seçimi dramatik etkiler oluşturarak tüketicilerin alışveriş konusunda motive olmasını sağlamalı, aynı zamanda mağazanın algılanan imajını kuvvetlendirerek tüketicileri mekana çekecek bir konsept oluşturmakta da etkili olmalıdır. Alışverişin hızlı yapılmasının istenildiği durumlarda, mekanda yüksek parıltı kontrastlarının sağlanması önerilirken, müşterinin daha uzun vakit geçirmesi istenilen durumlarda ise mekanda daha düşük parıltı kontrastları sağlanması önerilmektedir. Bununla birlikte görsel konfor koşulları sağlanmalı, kamaşmanın olumsuz sonuçlarından kaçınılmalı, parıltı kontrastının aydınlatma konusundaki standartlarda belirtilen değerler arasında olmasına dikkat edilmelidir. Örneğin, ürün ve zemin/ fon arasında 2:1 parıltı kontrastı, ürün ve koyu renkte yakın çevre arasında 3:1 parıltı kontrastı, ürün ve uzak koyu çevre alan arasında 10:1 parıltı kontrastı değerleri sağlanmalıdır **[6].**

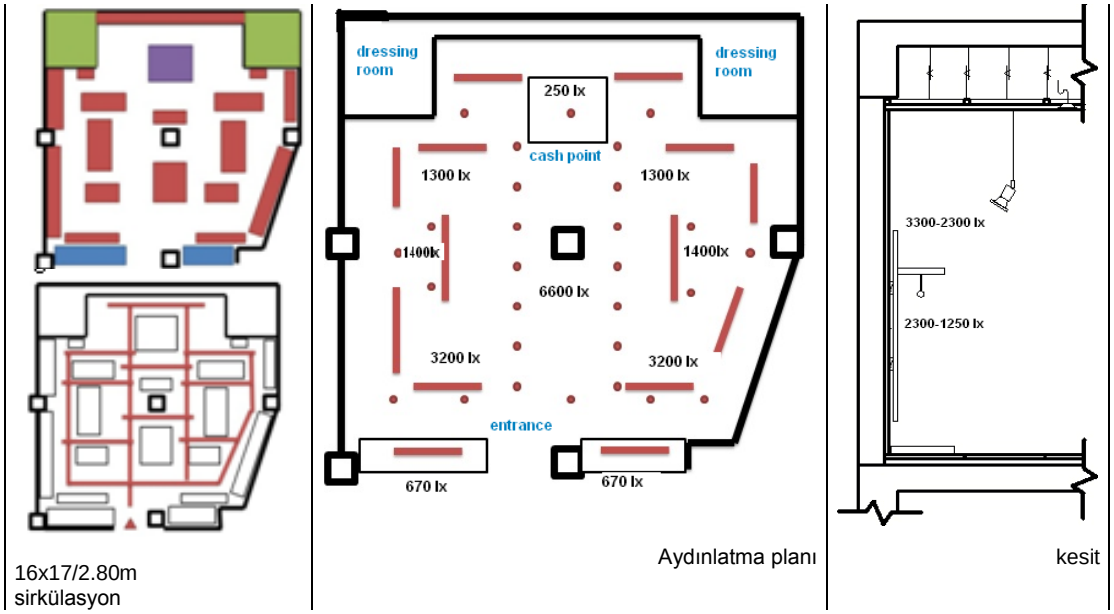
Mağaza iç mekanında renk tasarımı; performans ve biliş üzerine yapılan çalışmalarda tüketici davranışları üzerinde rengin etkili olduğu literatürde ifade edilmektedir **[7, 8]**. Örneğin; soğuk renk kompozisyonuna sahip iç mekanlar mağaza tasarımında sıcak renk kompozisyonuna sahip mekanlara göre daha fazla tercih edilmektedir. Mavi renk turuncuya göre daha olumlu hisler oluşturmaktadır **[9, 10]**. Babin'e göre (2003), mor, mavi renkli iç mekanlar kırmızı ve turuncu renkli mekanlara nazaran tüketici üzerinde alışveriş yapma isteğini artırıcı yönde etkiye sahiptir **[11]**. Buna karşın, tüketiciler sıcak renkli mağaza atmosferinin soğuk renkli mekanlara göre daha modern olduğu görüşünü taşımaktadır **[12, 13]**. Belirli bir renk kompozisyonuna sahip mekanlar görsel performans için önemli iken, akromatik yani renksiz mekanlar görsel performans açısından bir duyum oluşturmamaktadır. Görsel performansın sağlanmasında, aydınlatmaya bağlı parıltı kontrastının düşük olması durumunda (ΔL ~0.20), mekan içerisinde uyarıcı etkisi olan sıcak ve doymuş renklerin kullanımında tavsiye edilen minimum oran ~ 0.40' dır. Buna karşın parıltı kontrastının yüksek olması durumu görsel performans için tek belirleyicidir. Parıltı kontrastının ΔL; 0.20 ile 0.60 arasında olması durumunda ise parıltı ve renk (kromatik) görsel performansı sağlayan önemli tasarım bileşenidir. **[14]**. Bu nedenle, ışık ve renk birbirinden ayrılamaz tasarım bileşenleridir ve yapma çevre tasarımında, ışığın ve rengin psikolojik, fizyolojik, görsel, estetik ve teknik yönlerine eşit derecede önem verilmelidir **[6]**.

2. ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ

Çalışmada, Türkiye'de bir giyim mağazasının imajı üzerine tüketici algısını belirlemeye yönelik bir marka seçilmiştir. Marka seçimi, yıllık yüksek ciroya sahip ve farklı mesleki gruplar arasında

tercih edilme özelliğine sahip olanlar arasından yapılmıştır. Analizler; dört köşe yöntemi ile yürütülmüştür. Bu yöntem; ışık ve renk uyaranının fiziksel etkileri ile ilgilidir. Bununla birlikte; araştırmada bu iki çevresel uyaranın insanlar üzerindeki psikolojik etkilerini ölçen bir anket çalışması da yürütülmüştür.

İncelenen markanın plan tipine ilişkin fiziksel özellikleri incelendiğinde; bir alışveriş merkezi içerisinde yer alan, simetrik yarı açık vitrin özelliğinde ve kareye yakın plan şemasına sahip olduğu belirtilebilir. Mekanın boyutları: 16 m x 17 m olup, net yükseklik 2.80 m'dir. İç mekan ve renk kompozisyonu, seçilen markanın tüm diğer mağazalarında da aynı özelliktedir. Işık ve renk, mağaza tasarımında konsept geliştirmek amacıyla kullanılmıştır. Aydınlatma tasarımı; görsel düzene sahip, eylem alanlarıyla bütünleşen, iyi tanımlanmış ve organize edilmiş, belirli bir ritm ve hareket düzenine ve derinlik algısını kuvvetlendiren bir plan olarak ifade edilebilir. Mağaza kullanıcılarının dikkatini sergilenen ürünlerin üzerine çekecek şekilde, aydınlatma tasarımını destekleyen bir renk kompozisyonu kullanılmıştır. Mağaza tasarımında ve görsel algılamada en önemli yüzeyler olan duvarlar, düşey düzlemler için fiziksel özellikler hesaplanmıştır. Buna göre; duvarlar açık renkli-krem ve mat yüzeylerden oluşmaktadır, sergilemede kullanılan teşhir üniteleri ve kaplamalarda seçilen ahşap elemanlar beyaza yakındır (yaklaşık olarak r=0.70), döşemede kullanılan zemin kaplama malzemesi açık renkli ahşap parke (yaklaşık olarak r=0.50) ve beton'dur. Alçıpan asma tavan yaklaşık olarak 0.80 ışık yansıtma çarpanına sahip olup, aydınlatma planları, detaylar ve kısmi kesitler Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Aydınlatma Planı-Kısmi Kesit – Ölçülmüş Aydınlık Düzeyleri/ Ele Alınan Mağaza

Seçilen mağazanın iç mekan tasarımında ışık-renk uyaranı marka kimliğinin belirlenmesinde hem psikolojik hem de fiziksel açılardan değerlendirilmektedir. Aydınlatma tasarımının fiziksel etkilerini değerlendirmek için, teşhir ünitelerinde, sirkülasyon alanında, kasa alanında, vitrin bölgesinde aydınlık düzeyleri ölçülmesinde Extech Aydınlık Düzeyi Ölçer (EA 30) kullanılmıştır. Tüketiciler üzerindeki psikolojik etkiler ise yapılan anket çalışması ile belirlenmeye çalışılmıştır. Anket, ticari mekanların aydınlatmasının değerlendirildiği- "Dört Köşe Yöntemi" ilkelerine uygun olarak hazırlanmıştır **[6].**

3. SONUÇLARIN TARTIŞMASI

Çalışma, ışık ve renk tasarımının tüketici algısı üzerindeki olumlu etkilerini ortaya koymaktadır. Literatür değerlendirmesi ve çevresel psikoloji modellerine dayanarak **[15]**, mağaza renk tasarımının tüketici algısı üzerinde etkili olduğu söylenebilir.

3.1 Fiziksel Etkiler

CIBSE Aydınlatma Standartlarına göre, sergilenen ürünlerin üzerine dikkat çekmek; obje (ürün) üzerindeki aydınlığın genel yatay düzlemdeki aydınlığa oranından doğan bir fonksiyondur **[16]**. Obje (ürün) üzerinde ölçülmüş aydınlık düzeyi E_{obje} 'nin ortalama aydınlık düzeyi $E_{ortalama}$ 'ya oranından elde edilen değerler Çizelge 1'de verilmektedir. Değerlerden görsel etkinin az olduğu anlaşılmaktadır

Çizelge 1. Düşey ve Yatay Düzlemlerde Ölçülen Aydınlık Düzeyleri

	$E_{obje}/E_{ortalama}$	Oran	Etki
DÜSEY	3300/1593	2	Az
	2300/1593	1.44	Az
	1250/1593	0.78	Az
YATAY	1300/1593	0.81	Az

Görsel açıdan memnuniyet, gözlemlenen ile çevre alan arasındaki ilişkiye bağlıdır. Ortalama düşey aydınlık düzeyinin (E_d), yatay aydınlık düzeyine (E_y) oranının görsel memnuniyeti belirleyen göstergelerden biri olduğu bilinmektedir [16]. $E_{d/}$ E_y oranının yüksek olması kişilerin görme yeteneklerine de bağlı olarak görsel memnuniyeti sağlar. 0.3 ile 0.66 arasında değişen değerler memnuniyetin yüksek olduğu aralığı tanımlamaktadır. Çalışmada;

$$E_d / Ey = 2750/1593 = 1.72 \quad \text{ile} \quad E_d / E_y = 1775/1593 = 1.11 \qquad (1)$$

değerler hesaplanmıştır. Hesaplanan $E_{d/}$ E_y değerlerinin; 1.72 ile 1.11 aralığında olması; referans değerler olan 0.3 ile 0.66 'nın üzerinde olması sebebiyle; ortamda görsel açıdan memnuniyetin azalmış olduğunu göstermektedir. Mekanın aydınlatmasında; E_d 'nin genellikle tüm düşey düzlemlerde aynı olduğu ölçülmüştür. Çalışmada, mağaza içinde farklı fonksiyon alanlarında – vitrin, sirkülasyon alanı, kasa-banko, teşhir alanları, soyunma kabini- çeşitli noktalarda aydınlık düzeyleri ölçülmüştür. Çizelge 2 'de de görüldüğü gibi, her bir alanda ölçülen aydınlık düzeyleri referans aydınlık düzeyleri (E_{ref}) ile karşılaştırılmaktadır. Elde edilen değerlere göre E_{min}/E_{max}

oranları ile *L* parıltı değerleri de hesaplanabilmiştir. Düşey düzlemlerdeki ışık yansıtma katsayısı (r) 0.70 olarak alınmaktadır. Bu yüzeylerdeki *L* parıltı değerleri ise aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır. Tablo 2'de farklı fonksiyon alanlarındaki aydınlık düzeyleri ve parıltı değerleri gösterilmektedir.

$$E\ (lx) = L\ (cd/m^2) \times r\ (\%) \quad (2)$$

Mağazaların aydınlatma tasarımında; her bir ürünün kendi öz renginde görülmesi çok önemlidir. Mağazada kullanılan ışık kaynaklarının renksel geriverim indeksi (CRI) yüksektir. Aydınlatma sistemi, asma tavan üzerine yerleştirilmiş elektroraylar üzerinde hareketli spotlardan oluşmaktadır.

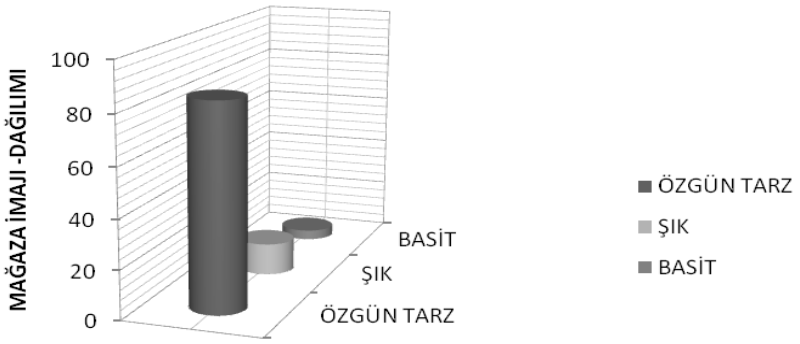
Çizelge 2. Ölçülen Aydınlık Düzeyi ve Hesaplanan Parıltı Değerleri

Fonksiyon alanı	**E referans**	**E ölçülen**	**Emin/Emax**	***L***
Vitrin	2000	2050	1	1400
Sirkülasyon Alanı	200	6600-1300	0.19	980-910
Kasa	300-1500	250	1	175
Teshir Üniteleri	750	3300-1250	0.37	2310-875
Soyunma Kabini	300-1500	200	1	140

Çizelge 2'den görülebildiği gibi ölçülen aydınlık düzeyleri $E_{referans}$ değerlerinden yüksek olup, yalnız kasa ve soyunma kabinlerinde düşüktür. Bu alanlar için aydınlatma düzeyi arttırılmalı, aydınlatma sistemi desteklenmelidir.

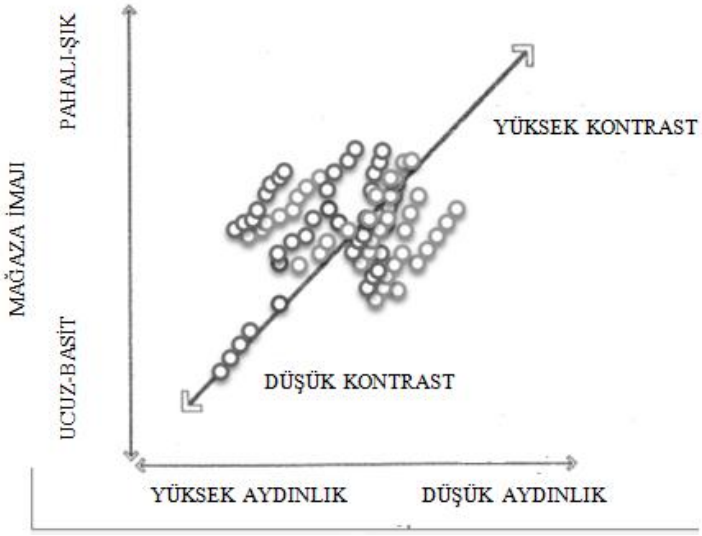
3.2 Psikolojik Etkiler

Çalışmada yürütülen anket, yaşı 15 ile 60 arasında değişen %15 erkek, %85 bayan, gönüllü 121 adet mağaza kullanıcısı ile yapılmıştır. Sekiz sorudan oluşan ankette kurum kimliğinin aydınlatma-renk tasarımı aracılığı ile nasıl algılandığı değerlendirilmeye çalışılmıştır. Ankete katılan mağaza kullanıcılarının mağaza imajını değerlendirmelerine yönelik sorularda; ucuz-basitten, pahalı-şık'a kadar değişen farklı sıfatlar tanımlamaları istenmiştir. Elde edilen veriler Ki-Kare (χ^2) istatistik yöntemi ile değerlendirilmiştir. Kutlu (2013), çalışmasında Ki-Kare Testin (χ^2) sonuçları detaylı olarak ele alınmıştır **[17]**. Katılımcılardan mağaza imajını tanımlamaları istenmiş, %83.3 "özgün tarz", %12,7 "şık", %4 ise basit-ucuz olarak ifade etmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Mağaza İmajının Yüzdelik Dağılımı

Şekil 3'de Dört Köşe Yöntemi Çizelgesi üzerinde ankete verilen cevapların dağılımı görülmektedir. Cevaplar ışık-renk uyaranlarına bağlı, mağaza imajının ortalamanın (standart) üzerinde algılandığını göstermektedir. Ankete katılanlardan; yatay ve düşey aydınlık düzeyleri, parıltı kontrastı, ışık kaynağının renksel özelliklerinden renksel geriverim indeksi ve lambaların yerleşimi gibi konularına dikkat ederek soruları cevaplamaları istenmiştir.



Şekil 3: Dört Köşe Yöntemi -Cevapların Dağılımı

Fiziksel çevre uyaranı olmaları sebebiyle, ışık ve renk tasarımı çevresel algıyı etkiler. Anket çalışmasına verilen cevaplara göre; %31.7 lik kısım ışık- renk tasarımının iç mekanda rahatlatıcı etkisi olduğunu, %24'lük bir kısım da hoş- memnun edici ve alışveriş isteğini artırıcı etkisi olduğunu işaretlemiştir. Grubun %20.6'sı canlı, %23,1'i sıkıcı ve diğer seçeneklerini işaretlemiştir (Şekil 4). Cevaplara bağlı olarak, mağaza imajına karşı aydınlık düzeyi Şekil 3'den görüleceği gibi zıt faktör olarak tanımlanmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuç, fiziki uyaranların tüketicilerin hisleri üzerindeki etkisini ölçen Baker'in araştırması ile paralellik göstermektedir.



Şekil 4. Işık-Renk Tasarımının Çevresel Algıya Etkisi-Yüzde Dağılımı

4. SONUÇLAR

Mağaza tasarımında, algılanan imaj ile mağaza kimliği ışık ve renk tarafından kuvvetli olarak etkilenmektedir. Bu iki parameter iç mimari konsept belirleme, tüketici davranışları, bilişsel hafıza çalışmalarında da etkendir.

Çalışmada, kimlik imajının önemi, bilişsel hafıza üzerindeki ışık ve rengin etkisi bir alan araştırması ile incelenmiştir. Araştırmada, "Dört Köşe Yöntemi" kullanılarak, fiziksel faktörlerin ve tüketicilerin algısına bağlı renk seçenekleri - aydınlatma tasarımının algıyı nasıl etkilediği değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara gore, seçilen mağazanın algılanan imajı standart (sıradan)'ın üzerindedir. Aydınlatma tasarımı ve renk kompozisyonu marka imajını betimlemektedir. Aydınlatma tasarımı; farklı eylem alanlarında değişen aydınlık düzeylerinde tefrişe bağlı tavan düzeni ile uyumlu olup, tüm düşey düzlemlerde homojen ve eşittir. Seçilen aydınlatma araçları eylem türüne bağlı olarak çeşitlilik göstermekte, tasarım konsepti ile bütünleşmektedir. Renk kompozisyonu; dikkati ürünlerden uzaklaştırmayacak şekilde, açık renk-krem özelliğindedir. Düşey-yatay düzlemler ve tüm donatılar mat yüzey özelliği taşımaktadır. Bütüncül mekan algısını kuvvetlendirecek şekilde mat,açık renkli-ahşap parke ve beton zemin kaplama malzemeleri kullanılmıştır.

Çalışma literatür ile **[12, 13]** tutarlı sonuçlar göstermektedir. Mağaza kullanıcıları soğuk renkli ve akromatik renk tasarımına sahip iç mekanlara olumlu tepkiler göstermektedir. Sonuçların, bütünleşik mağaza tasarımı sürecinde, algılanan imaj çalışmaları açısından tasarımcılara destek olacağı umulmaktadır. İleride ses ve ısı gibi diğer çevresel uyaranların da çalışmaya dahil edilmesi ile araştırma kapsamı geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

1. Flynn, J.E., "A Study Of Subjective Responses To Low Energy and Non-Uniform Lighting Systems", Lighting Design and Application, 1977, 7(2);6-15

2. Beltcher , C.M., Kluczny , R., "Lighting Ergonomics and The Decision Process", Proceedings of The 8 th Annual Meeting Of The ASEM, 1987, 51-55

3. Isen, A.M., Means, B. Patrıck, R., et.al., "Some Factors İnfluencing Decision- Making Strategy and Risk Taking", In Clark, M. and Fiske, S., eds., Affect and Cognition, Hillsdale NJ: Lawrence Erlbaum Association İnc, 1982, 243-61

4. Kım, S.-Y., Kım, J.-J., "Influence of Light Fluctuation on Occupant Visual Perception", Building and Environment, Vol:42, Issue: 8, August 2007, p:2888-2899

5. Bıtner,M.J., "Servicescapes:The Impact of Physical Surroundings on Customers and Employees", Journal of Marketing, 1992, 56(2), 57-70

6. Egan, M.D., Olgyay, V., "Architectural Lighting", 2nd Ed., 2002,McGraw Hill, New York

7. Jacobs, K.W., Suess J.F., "Effects of Four Psychological Primary Colors on Anxiety State", Percept Mot Skills, 1975; 49: 143-61

8. Wexner, L.B., "The degree to Which colors (Hues) Are Associated With Mood- Tones", J Appl Psychol, 1954; 38(3):432-5

9. Valdez, P., Mehrabıan, A., "Effects of color on Emotion", Journal of Environmental Psychology, 1994: 23, 4

10. Manav, B., "An Experimental Study on the Appraisal of the Vısual Environment at Offices In Relation To Colour Temperature and Illuminanace, Building and Environment, Vol:42, Issue: 2, February 2007, p:979-983

11. Babın B.J., Hardesty, D.M., Suter T.A., "Color and Shopping Intentions: The Intervening Effect of Price Fairness and Perceived Affect", J Bus Res, 2003; 56:541-551

12. Bellızı, J.A., Crowley, A.E., Hasty, R.W., "The Effects of Color in Store Design", J Retailing, 1983;59:21-45

13. Crowley, A.E.,"The Two Dimensional Impact of Color on Shopping" Mark Lett, 1993;4:59-69

14. O'donalle Et Al. "Color Information Improves Relative Visual Performance", Lighting Research and Technology, 2011,43:423-438.

15. Mehrabıan A., Russell, J.A., "An Approach to Environment Psychology", 1974, Cambridge, MA, MIT Press

16. IES Lighting Handbook Reference and Application, 2000, ed. Mark Rea, 9th Edition

17. Kutlu, R., Manav, B., Kılanc, R., " Retail Design: Color-Light Influence On Brand Identity-Image Perception",2013, World Applied Sciences Journal,23(5):598-606, DOI:10.5829/idosi.wasj.2013.23.05.219

MİMARİ AYDINLATMA TASARIMINDA GÖRSEL KONFOR VE ENERJİ PERFORMANSI AÇILARINDAN ÜRÜN SEÇİMİ ÜZERİNE BİR İNCELEME

Araş. Gör. Feride Şener Yılmaz[a]
İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

ÖZET

Binalarda sürdürülebilir aydınlatma tasarımlarının gerçekleştirilebilmesi için yapma ve doğal aydınlatma elemanlarının çevreye minimum düzeyde zarar verecek şekilde seçilmesi hedeflenmelidir. Bu çalışmada, mimari aydınlatma tasarımında ürün seçimi süreci, görsel konfor ve aydınlatma enerjisi performansı ilişkileri bağlamında bir bina örneği üzerinden incelenmektedir. Çalışma kapsamında ele alınmış bir ofis binası örneğinde farklı aydınlatma düzenlerine sahip olarak geliştirilen aydınlatma tasarımı alternatifleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Farklı lamba ve aydınlatma aygıtı seçimine dayanarak ve farklı teknolojiler kullanılarak elde edilmiş olduğu bilinen aydınlatma tasarım alternatiflerinin yıllık enerji gereksinimlerinin belirlenmesi, ve görsel konfor koşullarının irdelenmesi, çalışma kapsamında hedeflenmiştir.

Anahtar sözcükler: Aydınlatma tasarımı, Görsel Konfor, Aydınlatma enerjisi performansı, Aydınlatmada ürün seçimi

ABSTRACT

In order to provide sustainable lighting design in buildings, selection of daylighting and artificial lighting products with minimum environmental effect should be aimed. Architectural Lighting Design- product selection phase is investigated in terms of visual comfort and energy performance issues on a sample building in this study. Different lighting design alternatives are evaluated and compared on the example of investigated case study office building, and obtained results are discussed in this study. Evaluating lighting design alternatives with different lamp and luminaire selections having different technologies, visual comfort and annual lighting energy performance determination is aimed to be performed as part of this research.

Key words: Lighting Design, Visual Comfort, Lighting Energy Performance, Lighting Product Selection

[a] e-posta adresi: fsener@itu.edu.tr

1. GİRİŞ

Günümüzde sürdürülebilir hedefler bağlamında gerçekleştirilen bina tasarımları, iklim değişikliği, dünyadaki fosil tabanlı enerji kaynaklarının azalması, çevre kirliliği ve buna bağlı olarak oluşan insan sağlığına olumsuz etkileri gibi gerekçeler nedeniyle artış göstermektedir. Mimari aydınlatma sistemlerinin tasarımlarında, sistemi oluşturan bileşenlerin çevre etkisinin belirlenmesi ve ilgili tercihlerin bu durum gözetilerek gerçekleştirilmesi son derece önemlidir. Aydınlatma tasarımları, doğal ve yapma aydınlatma ürünlerinin uygun bir şekilde seçimi, analizi ve kullanımı ile oluşturulmaktadır. Doğal veya yapma aydınlatma elemanlarının seçiminde kaynak tüketimi, üretim, taşıma, kullanım ve yok edilme aşamalarının her birinde doğaya en az zarar veren ve minimum enerji tüketen ürünlerin tercih edilmesi gerekmektedir. Avrupa Lamba Üreticileri Federasyonu, (European Lamp Companies Federation) 2009 yılında yayınlamış olduğu raporunda, aydınlatma elemanlarından kaynaklanan çevresel etkilerin en büyük oranını %90 ile 'kullanım' aşaması olarak açıklamıştır **[1]**. Bu nedenle binalarda kullanım aşamasında tüketilen aydınlatma enerjisi miktarının minimuma indirgenebilmesi için gerekli çalışmalar yapılmalıdır. Bu bildiri kapsamında, aydınlatma ürün seçimi kaynaklı görsel konfor ve enerji performansının belirlenmesi çalışmaları irdelenmiştir. Bir ofis binası örneğinde geliştirilen aydınlatma tasarımı alternatifleri, bu doğrultuda karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Aydınlatma tasarımında ürün seçimi neticesinde ortaya çıkan çevresel etki konusunun aydınlatma enerjisi tüketimindeki önemini vurgulamak açısından çeşitli tasarım alternatifleri oluşturulmuş ve ilgili alternatiflerinin görsel konfor ve enerji değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. İlgili tasarım alternatifleri, uluslararası aydınlatma kuruluşlarının görsel konfor koşullarının gerçekleştirilmesi ile ilgili tavsiyeleri ve aydınlatmada enerji etkinlik ile ilgili güncel yaklaşımları dikkate alınarak oluşturulmuştur. Bu çalışmada ele alınan senaryoların görsel konfor değerlendirmelerinin gerçekleştirilmesi hedefiyle Uluslararası Aydınlatma Komisyonu CIE 171:2006: Test Cases to assess the Accuracy of Lighting Computer Programs "Aydınlatma Programlarının Doğruluğunu Belirlemeye Yönelik Testler" adlı yayını kullanılarak akredite olmuş DIALUX yapma aydınlatma simülasyon programı kullanılmıştır **[2]**. İstanbul koşullarında yer alan bir ofis binasını ele alan bu çalışma, oluşturulan tasarım alternatifleri dahilinde mekanlarda gereksinim duyulan yıllık aydınlatma enerjisi miktarının Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemi (BEP-TR) ile değerlendirilmesini içermektedir **[3]**.

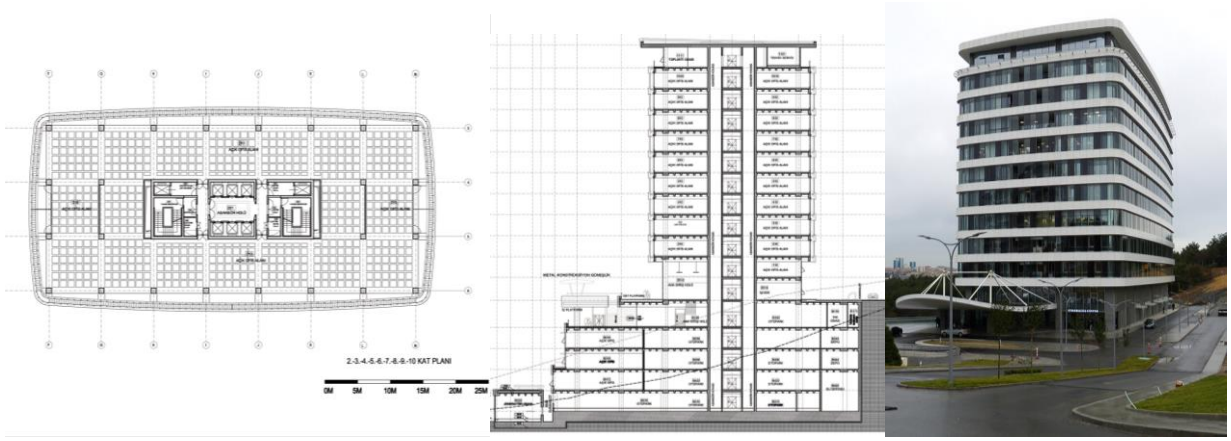
2. AYDINLATMA TASARIMINDA ÜRÜN SEÇİMİNİN ÖNEMİ

Aydınlatma tasarımında uygun ürünlerin seçimi, görsel konfor ve aydınlatma enerjisi performansı konuları ile doğrudan ilişkilidir. Görsel konfor koşullarını istenen şekilde sağlayan ve aydınlatma enerji performansı yüksek aydınlatma tasarımlarının gerçekleştirilebilmesi hedefiyle kullanılan ürünlerin nicelik ve niteliksel özellikleri tasarım aşamasından itibaren dikkate alınmalıdır. Öncelikle, yapma ve doğal aydınlatma ürünleri, aydınlatma tasarımlarını görsel olarak destekleyecek ve tasarımları bütünleştirecek şekilde seçilmelidir. Aydınlatma tasarımı gerçekleştirilen mekana ve eylem türüne bağlı olarak gereksinim duyulan özellikler dikkate alınmalı ve bu konuda ilgili referansları içeren aydınlatma kuruluşlarının önerilerine baş vurulmalıdır. Lambaların etkinlik faktörü değerleri, kaynaktan çıkan toplam ışık akısının kaynağın gücüne oranı olarak bilinmektedir. Yüksek etkinlik faktörüne sahip olan yapma aydınlatma elemanlarının binalarda kullanımı, aydınlatma tasarımlarında, aydınlatma enerjisinin minimize edilmesi açısından son derece önemlidir. Bunun yanı sıra ışık kaynaklarının renk

sıcaklığı ve renksel geriverim değerlerinin ilgili aydınlatma standartlarına uygun olarak seçilmesi gerekmektedir. Öte yandan iç mekanlarda kamaşmanın denetlenmesi ve yapma aydınlatma elemanlarına ilişkin kamaşma indisi UGR değerinin belirlenen sınır değerin üzerinde olmamasına dikkat edilmelidir. Seçilen ürünlerin ömrünün uzunluğu, maliyet etkin tasarımların gerçekleştirilmesi açısından önem taşımaktadır. Kurulan aydınlatma sistemlerinin esnek olması ve işletimlerinin kolaylığı, hem bakım-onarıma bağlı olarak gerekli duyulan değişikliklerin kolaylıkla gerçekleştirilebilmesi, hem de bina kullanıcılarının konforunun sağlanması açılarından önemlidir. Gelişen teknoloji ile türleri hızla çoğalan ve aydınlatma tasarımcılarının kullanımına sunulan yapma aydınlatma elemanları, lambalar, aygıtlar ve diğer aydınlatma ekipmanları, günümüzde çevresel ürün beyanları olarak ortaya konmuş ve ISO 14025 standardına göre tanımlanmış dökümanlar aracılığı ile aydınlatma ürünlerinin çevresel etkileri açısından belgelendirilmeye başlanmıştır **[4,5]**. Bu nedenle aydınlatma tasarımcılarının ürün seçimi esnasında bu tür çalışmalar incelemeleri ve çevresel etki açısından uygun ürünler seçmeleri beklenmektedir.

3. ÖRNEK BİNA İNCELEMESİ

Bu çalışma kapsamında İTÜ Arı Teknokent-3 Binası, örnek inceleme için seçilmiştir. İlgili proje, İTÜ Ayazağa Kampüsü'nde yer alan bir ofis binasıdır. Ele alınan binanın projelendirilmesi çalışmaları 2008 yılında başlamış ve bina 2012 yılında tamamlanarak kullanıma açılmıştır. Ar-Ge binası olarak kullanılan ve toplam inşaat alanı, 50.800 m² olan bina, ofis mekanları, toplantı salonları, sosyal donatılar, kapalı otopark ve teknik hacimleri bünyesinde barındırmaktadır. Ele alınan binanın 2-10. Katları (8 adet kat), açık ofis alanlarını barındıracak şekilde tasarlanmıştır. **Şekil 1**'de açık ofis kat planı (a), bina kesiti (b) ve binaya ilişkin bir görsele (c) yer verilmiştir **[6].** Bu inceleme çalışmasında bir tipik açık ofis katındaki görsel konfor koşulları ve aydınlatma enerjisi performansı belirlenerek, mevcut duruma alternatif olarak çeşitli senaryolar geliştirilmiş ve değerlendirilmiştir. İncelenen katta bulunan toplam ofis alanı 1211 m^2, kat yüksekliği 2.88m'dir.



a) b) c)

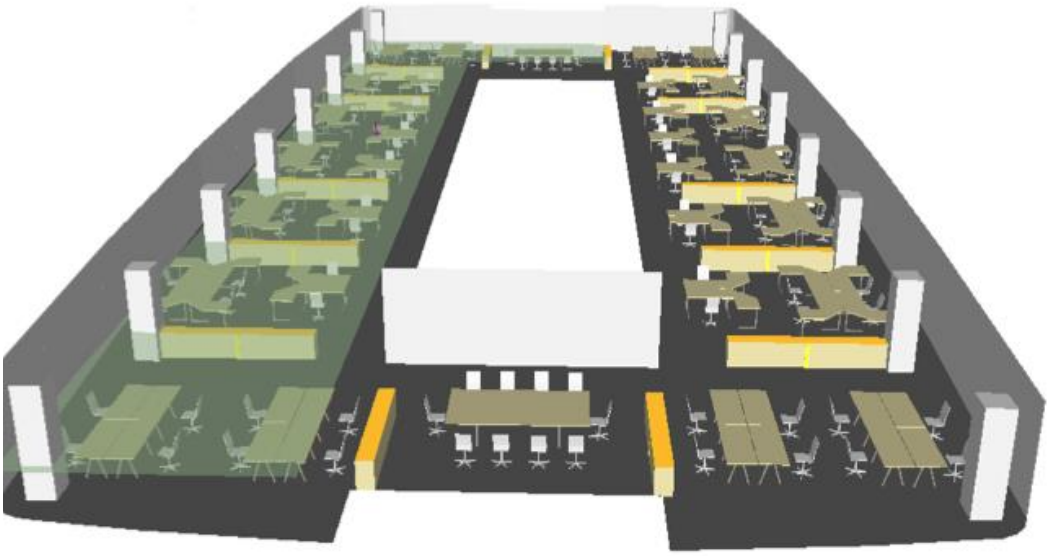
Şekil 1: Arı Teknokent-3 binası ofis katları planı (a) ve bina kesiti (b) ve binaya ilişkin bir görsel [6]

Binanın kullanım saatleri 08:00-18:00 arasıdır. Hacim iç yüzeylerinin ışık yansıtma katsayıları, EN 12464 Standardı ile uyumlu olacak şekilde duvarlarda %50, tavanda ise %80, zeminde ise

%20 olarak belirlenmiştir **[7]**. Cepheler çift cidarlı olarak tasarlanmış olup cephede kullanılan saydam yüzeyler güneş kontrolü sağlamak amaçlı olarak Low-E film ile kaplıdır. Pencere camlarının ışık geçirme katsayısı (τ) %60'tır. Bina çevresinde engel bulunmamaktadır ve pencerelerde güneş kontrol elemanları mevcut değildir.

3.1 Mevcut aydınlatma sistemi ve aydınlatma senaryolarının geliştirilmesi

Çalışmanın bu bölümünde mevcut durum ve öneri senaryolara ilişkin görsel konfor ve enerji performans değerlendirmesi yapılmıştır. İncelenen mekanlarda görsel konfor koşulları açısından sağlanması gereken değerler EN 12464 Light and Lighting, Indoor Work Places, Işık ve Aydınlatma, İç Çalışma Mekanları standardında referans verilmiştir. Buna göre, ofis mekanlarında sağlanması gereken aydınlık düzeyinin 500lx, yapma aydınlatma elemanlarına ilişkin renksel geriverim indisinin minimum 80 ve yapma aydınlatma elemanlarına ilişkin kamaşma indisi UGR değerinin ise 19 olması gerektiği bilinmektedir **[7]**. Mevcut durumda yapma aydınlatma elemanları, bu kriterleri sağlayacak ürünler olarak seçilmiştir. Hacimlerde asma tavana monte direkt aygıtlar içinde 4x18W gücünde tüp flüoresan lambalar kullanılmıştır, aygıt gücü toplam 86 W olarak verilmiştir. Ofis katında aydınlatma kontrol sisteminin manüel olduğu kabul edilmiştir. İncelenen kat planı, Dialux simülasyon programında modellenmiştir. **Şekil 2**'de gerçekleştirilen modele ilişkin bir görsele yer verilmiştir.

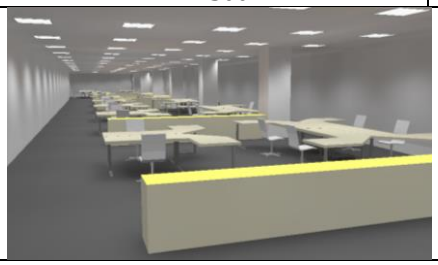
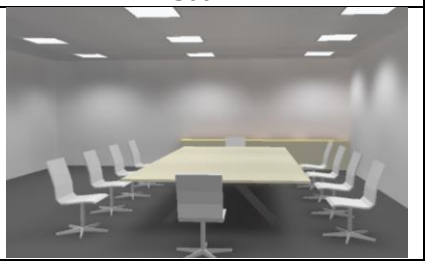


Şekil 2: Arı Teknokent-3 binası ofis katı Dialux modeli

İncelenen ofis katında kullanılan ofis alanları, açık ofis bölgesi ve toplantı salonlarını içermektedir. Simetrik olarak tasarlanmış kat planındaki ofis alanları zonlanarak gerekli görsel konfor ve aydınlatma enerjisi performansı değerlendirilmesi, ilgili hacim türü örnekleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Kat genelinde iki adet açık ofis, iki adet de toplantı odası yer almaktadır. **Çizelge 1**'de açık ofis ve toplantı odasına ilişkin çeşitli bilgilere yer verilmiştir. Mevcut durumda (Senaryo 1) kullanılan aydınlatma senaryosuna öneri olarak farklı aydınlatma ürün seçimini ve yerleştirilme biçimini içeren aydınlatma senaryoları çalışma kapsamında geliştirilmiştir. Mevcut durumda kullanılan flüoresan lambalara alternatif olarak düşük enerji tüketimine sahip LED

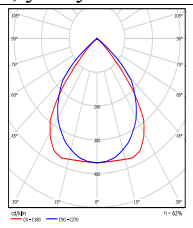
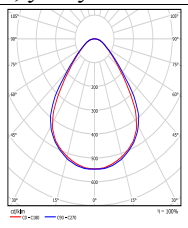
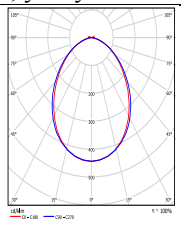
ürünler önerilerek Senaryo 2, 3 ve 4 geliştirilmiştir. Önerilen LED ürünler, modüler asma tavan yapısına uygun ve mevcut lambaların yeni ürünler ile değiştirilmesine olanak sağlayacak biçimde seçilmiştir. Senaryo 2, mevcut aydınlatma sisteminin önerilen panel LED ürünler ile değiştirilmesi ile elde edilmiş yapma aydınlatma senaryosudur. Senaryo 3, farklı optik tasarıma sahip bir LED ürün kullanılarak geliştirilmiştir. Senaryo 4 ise Senaryo 2'de kullanılan panel LED ürünlerin istenen aydınlık düzeyi olan 500 lx'ü sağlayacak şekilde ancak mevcut durumdan daha az sayıda aygıt kullanımı ile oluşturulmuştur.

Çizelge 1. Ele alınan mekanlara ilişkin bilgiler

Hacim Tipi	**Açık Ofis (2 adet)**	**Toplantı Odası (2 adet)**
Alanı (m^2)	542,4 m^2	63,36 m^2
Saydam yüzey alanı (m^2)	75.10m x 2.471m	8.8m x 2.471m
Toplam dış cephe alanı	75.10m x 2.88m	8.8m x 2.88m
Lambaların gücü (W) ve türü	86 W toplam (18W x 4)	86 W toplam (18W x 4)
Aygıt türü	Direkt, asma tavana monte aygıt	Direkt, asma tavana monte aygıt
Referans düzlem yüksekliği (m)	0.8 m	0.8 m
İstenen Aydınlık Düzeyi (lx)	500 lx	500 lx
Görsel		

Çizelge 2'de geliştirilen senaryolarda kullanılan aygıtlara ilişkin bilgiler ve ışık dağılım eğrileri verilmiştir. Mevcut durumda aydınlatma kontrolünün manuel olması kabulünün yanı sıra geliştirilen senaryoların (Senaryo 1,2,3,4) günışığına bağlı otomatik loşlaştırma sistemine sahip olması alternatifi incelenmiş ve aydınlatma enerjisi gereksinimlerinin hesaplanmasında dikkate alınmıştır.

Çizelge 2. Senaryolarda kullanılan aygıtlar ve ışık dağılım eğrileri

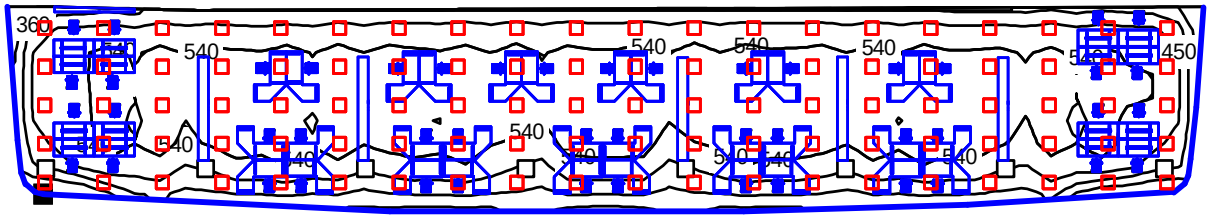
Senaryo 1 (mevcut durum) Lamba türü: Flüoresan Güç: 86 W (4x18W lamba) Işık akısı: 3348 lm Renksel Geriverim indisi:80 Aygıt türü: Direkt, yüzeye monte	Senaryo 2 ve Senaryo 4 Lamba türü: LED panel Güç: 42 W Işık akısı: 3700 lm Renksel Geriverim indisi: 80 Aygıt türü: Direkt, yüzeye monte	Senaryo 3 Lamba türü: LED Güç: 37,4 W Işık akısı: 3508 lm Renksel Geriverim indisi: 80 Aygıt türü: Direkt, yüzeye monte
 	 	 

3.2. Görsel Konfor Koşullarına İlişkin Değerlendirme

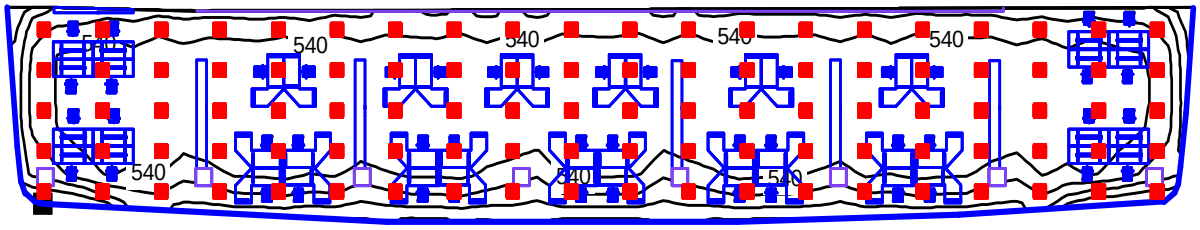
Çalışma kapsamında geliştirilen senaryoların yapma aydınlatmaya ilişkin hesaplamaları, Dialux aydınlatma simülasyon programı ile gerçekleştirilmiştir. Ele alınan açık ofis ve toplantı odasında farklı senaryolar ile elde edilen aydınlık dağılımları hesaplanmış ve mekan genelindeki ortalama aydınlık düzeyi elde edilmiştir. EN 12464 standardında referans olarak belirlenmiş minimum değer olan 500 lx'ün sağlanması, mekanlardaki görsel işlerin etkin olarak gerçekleştirilmesi ve kullanıcıların göz sağlığının korunması açılarından önem taşımaktadır. Oluşturulan senaryolar için simülasyonlarda elde edilen aydınlık dağılımı ve ortalama aydınlık düzeyleri, **Çizelge 3**'de açık ofis alanı, **Çizelge 4**'de ise toplantı odası için verilmiştir.

Çizelge 3. Açık ofis alanı için oluşturulan senaryolardaki aydınlık dağılımı sonuçları (lux)

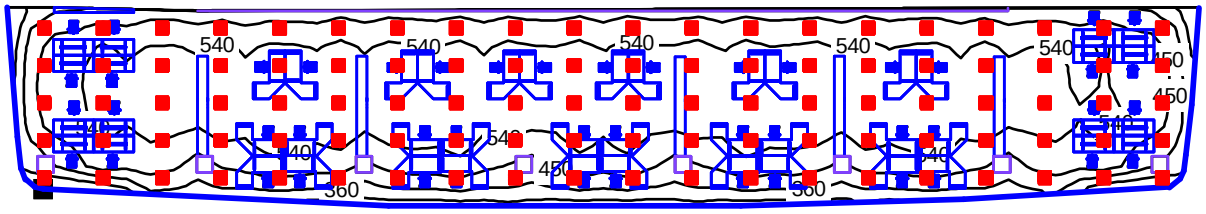
Senaryo 1, E_{ort}: 501 lx



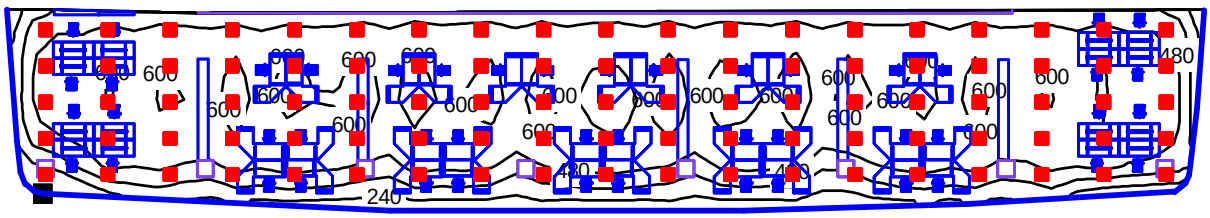
Senaryo 2, E_{ort}: 534 lx



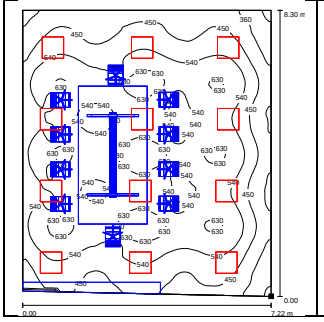
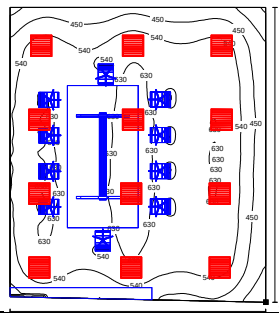
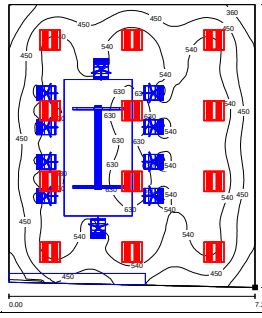
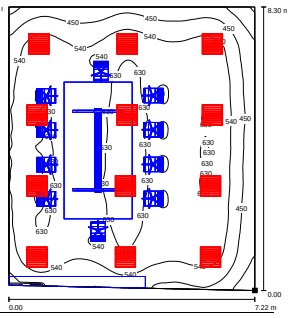
Senaryo 3, E_{ort}: 503 lx



Senaryo 4, E_{ort}:510 lx



Çizelge 4. Toplantı odası için oluşturulan senaryolardaki aydınlık dağılımı sonuçları (lux)

Senaryo 1, E_{ort}: 527 lx	Senaryo 2, E_{ort}: 559 lx	Senaryo 3, E_{ort}:525 lx	Senaryo 4, E_{ort}:559 lx
			

Farklı ürün seçimi ve ürün dizilimine sahip olacak şekilde geliştirilen dört adet aydınlatma senaryosunun her birinde hedeflenen aydınlık düzeyinin sağlandığı görülmüştür. Bunların arasında açık ofis alanlarında en yüksek aydınlık düzeyi, 534 lx olarak Senaryo 2'de kullanılan ürün ile elde edilmiştir. Senaryo 3'te ortalama aydınlık düzeyinin 503 lx olduğu belirlenmiştir. Ortalama aydınlık düzeyinin 500lx'e yakınlaşabilmesi hedefiyle Senaryo 4'de aygıt sayısı 100'den 95'e düşürülerek ortalama 510 lx değeri elde edilmiştir. Bu çalışma kapsamında önerilen senaryolarda yer alan açık ofis ve toplantı odası hacimlerinde istenen aydınlık düzeyinin sağlandığı görülmektedir. **Çizelge 5**'te geliştirilen senaryolara ilişkin hesaplanan ortalama aydınlık düzeyleri (lx) ve kullanılan aygıt adedi bilgilerine yer verilmiştir.

Çizelge 5. Senaryolara ilişkin hesaplanan ortalama aydınlık düzeyleri (lx) ve kullanılan aygıt adedi

Aydınlatma Senaryosu	**Hesaplanana aydınlık düzeyi-aygıt adedi**	**Açık Ofis Alanı (2 adet)**	**Toplantı Odası (2adet)**
Senaryo 1	Hesaplanan aydınlık düzeyi (lux)	501 lx	527 lx
	Kullanılan aygıt adedi	100 adet	12 adet
Senaryo 2	Hesaplanan aydınlık düzeyi (lux)	534 lx	559 lx
	Kullanılan aygıt adedi	100 adet	12 adet
Senaryo 3	Hesaplanan aydınlık düzeyi (lux)	503 lx	525 lx
	Kullanılan aygıt adedi	100 adet	12 adet
Senaryo 4	Hesaplanan aydınlık düzeyi (lux)	510 lx	527 lx
	Kullanılan aygıt adedi	95 adet	12 adet

3.3 Aydınlatma Enerjisi Gereksiniminin Belirlenmesi

Çalışmanın bu bölümünde, ele alınan senaryolara ilişkin yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimlerinin belirlenmesi BEP-TR hesap yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Buna göre, ele alınan ofis katında bulunan 2 adet açık ofis ve 2 adet toplantı odası hacimlerindeki yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimleri Eşitlik 1 yardımı ile hesaplanmıştır.

$$W_{L,t} = \{(P_n \times F_c) \times [(t_D \times F_o \times F_D) + (t_N \times F_o)]\} / 1000 \text{ (kWh)} \quad (1)$$

Burada, $W_{L,t}$ yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh), P_n bir hacim veya bölüme ilişkin toplam kurulu aydınlatma gücü (W), F_c sabit aydınlık faktörü, t_D gün saatleri kullanımı (h), F_o kullanıma bağlı faktör, F_D günışığı bağımlılık faktörü ve t_N ise gün saatleri dışında kullanımı (h) ifade

etmektedir. Aydınlatma için harcanan toplam enerji ise aydınlatma için harcanan enerji ve parazit güç için harcanan enerjinin toplamı olup Eşitlik 2 ile hesaplanmaktadır.

$$W_t = W_{L,t}+W_{P,t} \text{ (kWh)} \quad (2)$$

Burada, W_t Aydınlatma için harcanan toplam enerji, $W_{L,t}$ Aydınlatma için harcanan enerji ve $W_{P,t}$ Parazit güç için harcanan enerjidir. Hesaplamalarda aydınlatma sisteminin yıllık toplam enerji yükünün belirlenmesi için otomatik kontrol ve acil durum aydınlatmasına ilişkin parazit yüklerin ilavesi gerçekleştirilmiştir. Bu değerler BEP-TR ve EN 15193 yöntemlerinde tanımlandığı gibi otomatik kontrol için metrekare başına 5 kW ve acil durum aydınlatması için 1 kW olarak hesaplamalara dahil edilmiştir **[8]**.
Son olarak, incelenen ofis katına ilişkin oluşturulan senaryolar ile elde edilen Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi (AESG) değerleri, Eşitlik 3 ile belirlenmiştir. Aydınlatma enerjisi sayısal göstergesi, binada tüketilen yıllık toplam aydınlatma enerjisine ilişkin sayısal gösterge olup aydınlatma için kullanılan toplam yıllık enerjinin binanın toplam kullanılan alanına oranı ile belirlenmektedir. Ofis binaları için bu değer, manuel aydınlatma kontrolüne sahip durumlarda maksimum 42.1(kWh/m^2 x yıl) loşlaştırmaya bağlı sabit aydınlatma kontrolü bulunması durumlarında ise maksimum 32.2 (kWh/m^2 x yıl) olarak verilmiştir (t_D 2250, t_N 250 için) **[8]**.

$$AESG = W_t / A \text{ (kWh/m}^2 \text{ x yıl)} \quad (3)$$

Burada, W_t Aydınlatma için kullanılan toplam yıllık enerji (kWh/yıl) ve A ise binanın toplam kullanılan alanıdır (m^2).

3.3.1 Toplam Kurulu Aydınlatma Gücü (P_n) Hesaplanması

Çalışmanın bu bölümünde ele alınan hacimlerdeki tüm aygıtlara ilişkin kurulu güç (Watt) değerleri hesaplanmıştır. Senaryolara ve hacim tiplerine ilişkin olarak belirlenen kurulu güç değerleri **Çizelge 6**'da yer almaktadır.

Çizelge 6. Senaryolara ve hacim tiplerine ilişkin olarak belirlenen kurulu güç

Toplam Kurulu Aydınlatma Gücü (P_n)	Senaryo 1 (mevcut durum)	Senaryo 2 (LED panel (mevcut durum ile eşit sayıda)	Senaryo 3 LED opal (mevcut durum ile eşit sayıda)	Senaryo 4 LED panel (500 lx aydınlık düzeyi elde edecek şekilde)
Açık ofis	86W x 100= 8600W	42W x 100= 4200W	37,4 x 100= 3740W	42W x 95= 3990W
Toplantı odası	86W x 12= 1032W	42W x 12= 504W	37,4 x 12= 448,8	42W x 12= 504W

3.3.2 Sabit Aydınlık Faktörü (F_C) Hesaplanması

Bu değer, bir hacimde toplam kurulu aydınlatma gücünün sabit aydınlık kontrolüne bağlı tüketimine ilişkin faktördür ve hacimlerde loşlaştırılabilir aydınlatma sistemi kontrolü olması durumunda hesaba katılmaktadır. Ele alınan binada loşlaştırmaya bağlı bir aydınlatma kontrolü bulunmadığından sabit aydınlık faktörü (F_C) değeri 1 (etkisiz) olarak kabul edilmiş, loşlaştırma olması alternatifi durumunda ise bu değer BEP-TR yöntemine göre 0.9 olarak belirlenmiştir.

3.3.3 Gün Uzunlukları ve Çalışma Saatleri İlişkisi - t_D ve t_N Değerinin Hesaplanması

BEP TR aydınlatma hesap yöntemine göre bina kullanım saatlerine bağlı olarak yıllık t_D ve t_N değerlerinin belirlenebilmesi için gün uzunluklarının Türkiye'deki şehirler için hesaplanması

gerekmektedir. Çalışma kapsamında İstanbul koşulları için gün uzunlukları, her ayın 15. gününe ait değerler kullanılarak ortalama değer olarak hesaplanmıştır. Seçilen tipolojinin ofis binası olması nedeniyle çalışma saatlerinin 09:00-18:00 olduğu kabulüne dayanarak t_D değeri 2244,6 saat, t_N değeri ise 113,4 saat olarak hesaplanmıştır.

3.3.4 Kullanıma Bağlı Faktörün (F_o) Hesaplanması

Çalışma kapsamında incelenen hacimler için kullanıma bağlı faktörün hesaplanması, aydınlatma kontrolüne bağlı faktör ve mekanların kullanım oranları dikkate alınarak gerçekleştirilmiş ve her mekan türü için ayrıca hesaplanmıştır. Buna göre mekanların kullanılmama oranını belirten yokluk faktörü (F_A) ve manüel açma kapama anahtarına sahip mekanlar için kabul edilen aydınlatma kontrolüne bağlı faktör (F_{OC}) değerleri uyarınca hesaplanmış **"**kullanıma bağlı faktörün (F_o)" sonuçları, **Çizelge 7**'de yer almaktadır.

Çizelge 7. Ele alınan mekanlara ilişkin yokluk faktörü (F_A), aydınlatma kontrolüne bağlı faktör (F_{OC}) ve kullanıma bağlı faktör (F_o) değerleri

	Manuel kontrol		Otomatik kontrol	
Hacim Tipi	Açık Ofis (2 adet)	Toplantı Odası (2 adet)	Açık Ofis (2 adet)	Toplantı Odası (2 adet)
Yokluk faktörü (F_A)	0	0.40	0	0.40
Aydınlatma kontrolüne bağlı faktör (F_{OC})	1	1	0.9	0.9
Kullanıma bağlı faktör (F_o)	1	0.80	1	0.7

3.2.5 Günışığı Bağımlılık Faktörü (F_D) Hesaplanması

Bu çalışma kapsamında BEP-TR'de önerilen yöntem uyarınca hacimlerin günışığından yararlanabilme durumları saptanmıştır. Bir hacmin günışığından yararlanan alanları pencerelerin boyutları ve hacmin boyutları ile ilişkilidir. Çalışma kapsamında ele alınan açık ofis ve toplantı odası hacimlerinin BEP-TR aydınlatma modülü hesap yöntemi uyarınca günışığından yararlanan bölgeleri belirlenmiştir. İlgili hacimlerin günışığı faktörü ve günışığı faktörü sınıflandırılması sonuçlarına göre belirlenen değerler **Çizelge 8**'de yer almaktadır. İncelenen açık ofis alanının günışığı etkisi "zayıf" olarak belirlenmiştir. Açık ofis hacminin cephesinin çift cidarlı cephe olması durumu, günışığı etkisinin azalmasına ve günışığı etkisinin zayıf olarak belirlenmesine sebep olmaktadır. Ele alınan toplantı odası, ise bina geometrisi nedeniyle binaya ait saçak ve düşey çıkıntılar nedeniyle engellenmiş durumdadır. Aynı zamanda çift cidarlı cepheye sahip olan bu hacmin günışığı etkisi belirlenirken yatay saçak için düzeltme faktörü, düşey gölgeleme elemanı için düzeltme faktörü ve camlı çift cidarlı cephe için düzeltme faktörü dikkate alınarak engel indisi hesaplanmıştır. Sonuç olarak incelenen toplantı hacminin günışığı etkisi "etkisiz" olarak belirlenmiştir. Yıllık toplam aydınlatma enerjisinin hesaplanması için günışığı bağımlılık faktörü F_D'nin belirlenmesi gerekmektedir. Günışığı bağımlılık faktörü, yapma aydınlatma sistemlerinin kontrol tipine ve günışığı sağlama faktörüne bağlıdır. Günışığı sağlama faktörü ise hacmin bulunduğu coğrafi konumun enlem ve boylam değerleri, günışığı faktörünün sınıfı ve istenen ortalama aydınlık düzeyine göre değişim göstermektedir. İstanbul'da bulunan binanın açık ofis hacmi için F_D değeri manuel aydınlatma kontrolüne sahip olması durumunda 0,89, otomatik aydınlatma kontrolüne sahip olması durumunda ise 0,58 olarak hesaplanmıştır. Ele alınan toplantı odasının günışığı bağımlılık faktörü ise "1" olarak belirlenmiştir.

Çizelge 8. Ele alınan mekanlara ilişkin günışığı faktörü ve günışığı faktörü sınıflandırılması sonuçları

Hacim türü	Pencere Alanı (Ac) (m^2)	Günışığından yararlanan toplam yatay çalışma düzlemleri alanı (A_D) (m^2)	Geçirgenlik indisi (I_T)	Engel indisi (I_O)	Günışığı faktörü (D_c)	Günışığı faktörü sınıflandırması (D)	Günışığı etkisi
Açık ofis	185,57	330,91	0,56	0.36	4.3	1.64	Zayıf
Toplantı odası	21,74	43,91	0.50	0.10	1.06	0.4	Etkisiz

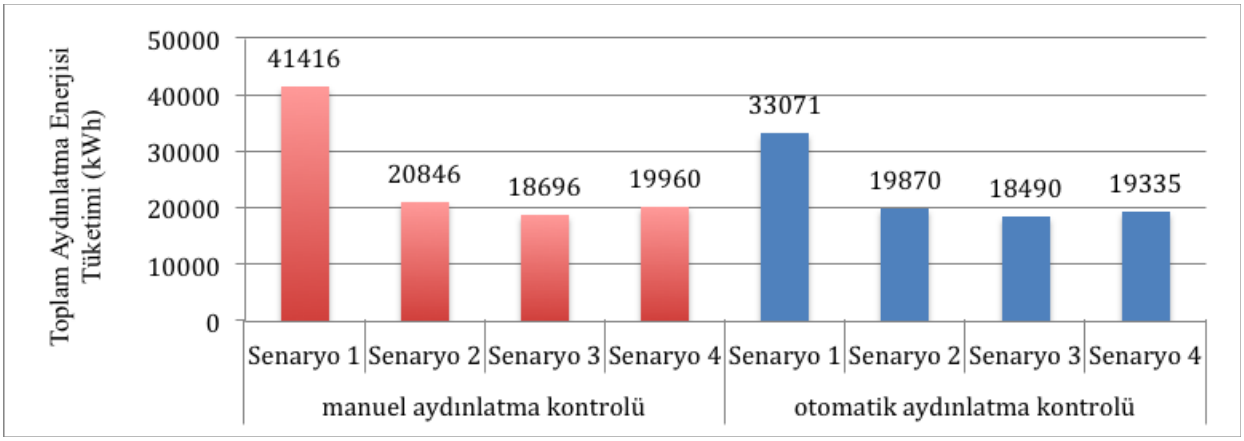
3.3.6 Senaryolara ilişkin Toplam Aydınlatma Enerjisi Tüketimi (W_t) Değerlerinin belirlenmesi

Senaryolara ilişkin toplam aydınlatma enerjisi tüketimi W_t, aydınlatma için harcanan toplam enerji ve parazit güç için harcanan enerji miktarları dikkate alınarak belirlenmiştir. Hesap sonuçları, yapma aydınlatma kontrol tiplerine göre iki farklı set olarak hazırlanmış ve **Çizelge 9**'da verilmiştir. Ele alınan mekanlarda aydınlatma kontrolünün manuel olması durumunda otomatik aydınlatma kontrolü için gerekli yıllık parazit enerji miktarı "0" iken, günışığına bağlı loşlaştırma sistemi mevcut olması durumunda ise otomatik kontrol için metrekare başına 5 kW parazit güç ilavesi hesaplamalarda dikkate alınmıştır. Bina genelinde acil durum aydınlatması bulunması nedeniyle metrekare başına 1kWh acil durum aydınlatması için gerekli ilave gerçekleştirilmiştir. **Çizelge 9**'da ilgili hacimlerdeki ve binanın incelenen ofis katındaki yıllık toplam aydınlatma enerjisi gereksinmelerine yer verilmiştir.

Çizelge 9. Ele alınan mekanlara ilişkin hesaplanan toplam aydınlatma enerjisi tüketimi

Kontrol	Hacim	Senaryolar	W_{Lt} (kWh)	W_{EM} (kWh)	W_{AC} (kWh)	W_t (kWh)
manuel aydınlatma kontrolü	Açık ofis (2 adet)	Senaryo 1	18155,41	542,40	0,00	18697,81
		Senaryo 2	8866,59	542,40	0,00	9408,99
		Senaryo 3	7895,49	542,40	0,00	8437,89
		Senaryo 4	8423,27	542,40	0,00	8965,67
	Toplantı odası (2 adet)	Senaryo 1	1946,76	63,34	0,00	2010,10
		Senaryo 2	950,75	63,34	0,00	1014,09
		Senaryo 3	846,62	63,34	0,00	909,96
		Senaryo 4	950,75	63,34	0,00	1014,09
otomatik aydınlatma kontrolü	Açık ofis (2 adet)	Senaryo 1	10954,17	542,40	2712,00	14208,57
		Senaryo 2	5349,71	542,40	2712,00	8604,11
		Senaryo 3	4763,79	542,40	2712,00	8018,19
		Senaryo 4	5082,23	542,40	2712,00	8336,63
	Toplantı odası (2 adet)	Senaryo 1	1946,76	63,34	316,70	2326,80
		Senaryo 2	950,75	63,34	316,70	1330,79
		Senaryo 3	846,62	63,34	316,70	1226,66
		Senaryo 4	950,75	63,34	316,70	1330,79

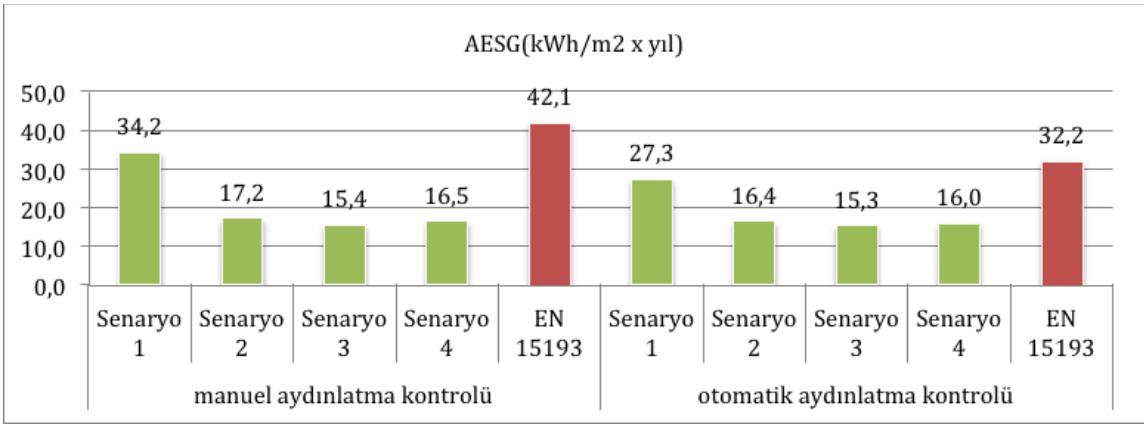
Hacim bazında gerçekleştirilen hesap sonuçları, hacim adedince tekrarlanarak toplam ofis katı genelindeki aydınlatma enerjisi tüketimine ulaşılmıştır. Ele alınan ofis katında farklı yapma aydınlatma seçenekleri ve kontrol sistemlerinin tercih edilmesi dahilinde elde edilmiş kat bazındaki toplam aydınlatma enerjisi tüketim miktarları, **Şekil 3**'de verilmiştir. Buna göre en fazla aydınlatma enerjisi tüketimi, Senaryo 1 manuel aydınlatma kontrolü ile oluşurken en az enerji tüketimi ise Senaryo 3 loşlaştırmaya bağlı otomatik aydınlatma kontrolü seçiminde gerçekleşmiştir.



Şekil 3: Farklı senaryolara ilişkin ofis katı bazında toplam aydınlatma enerjisi tüketim miktarları

3.3.7 Senaryolara ilişkin Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi AESG Değerlerinin belirlenmesi

Ele alınan ofis katında farklı yapma aydınlatma seçenekleri ve kontrol sistemlerinin tercih edilmesi dahilinde elde edilmiş kat bazındaki AESG değerlerinin hesaplanması, çalışmanın bu bölümünde gerçekleşmiştir. **Şekil 4**'de, oluşturulan senaryolar ile elde edilen Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi (AESG) değerlerinin grafiksel olarak karşılaştırılmasına yer verilmiştir. Elde edilen AESG değerlerinin EN 15193 Standardı'nda tanımlanan sınır değerlerinin altında olduğu belirlenmiştir. Bu durum, seçilen aydınlatma ürünlerinin ve oluşturulan aydınlatma tasarımlarının enerji etkinlik ve görsel konfor açılarından uygun olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 3: Farklı senaryolara ilişkin ofis katı bazında toplam aydınlatma enerjisi tüketim miktarları

Elde edilen AESG sonuçlarına göre, manuel aydınlatma kullanımına sahip Senaryo 1 için en yüksek AESG değeri 34,2 olarak elde edilmiştir. Aynı senaryo için yalnızca kontrol sisteminin günışığına bağlı loşlaştırma sistemi ile değiştirilmesinde AESG değeri 27,3'e inmiştir. Özellikle yüksek kurulu güce sahip olan mekanlarda yapma aydınlatma kontrol sistemlerinin günışığına bağlı olarak seçilmesi, aydınlatma enerjisi performansının arttırılması açısından önem taşımaktadır. Ele alınan ofis katında minimum aydınlatma enerjisi sayısal göstergesi değeri (AESG), Senaryo 3'ün tercih edilmesinde oluşmuştur. Senaryo 3 genelinde kullanılan yüksek etkinlik değerine sahip yapma aydınlatma ürünlerinin seçilmesi, aydınlatmada enerji performansının arttırılmasında ürün seçiminin önemini vurgulamaktadır.

4. SONUÇ

Sonuç olarak uygun aydınlatma ürünleri ve kontrol sistemlerinin tercih edilmesi ile binalarda aydınlatma enerjisi performansının iyileştirilmesi, çalışma kapsamında gözler önüne serilmiştir. Farklı ürünlerin aydınlatma enerjisi tüketimine ve görsel konfor koşullarına etkisini belirleyebilmek açılarından, aydınlatma tasarımı aşamasından itibaren simülasyon programlarının kullanımının önemi açıktır. Bu tür programlar yardımı ile, aydınlatma tasarımcıları seçmiş oldukları ürünlere ilişkin görsel konfor- enerji performansı değerlendirmelerini pratik olarak gerçekleştirme imkanı bulmaktadır. Aydınlatma elemanlarının enerji etkin olarak seçilmesine bağlı olarak elde edilebilecek aydınlatma enerjisi tasarruf potansiyeli bu çalışma kapsamında açıkça ortaya konmuştur. İlerleyen çalışmalarda oluşturulan senaryolar bağlamında seçilen ürünlere ve gerçekleştirilen aydınlatma tasarımlarına yönelik olarak maliyet değerlendirmelerinin gerçekleştirilmesi, maliyet etkin aydınlatma tasarımlarının ortaya konması hedeflenmektedir.
Günümüzde binalara ilişkin ürünlerin yahut servislerin çevresel etkilerini değerlendirmek için hazırlanmış standartlar, sistemler ve değerlendirme yöntemleri, her alanda olduğu gibi aydınlatma alanında da hızla yer bulmaktadır. Bu nedenle, aydınlatma tasarımlarının çevresel etki değerlendirilmesinin gerçekleştirilmesi, bu tür yöntemlerin kullanımı ile olanaklıdır. Aydınlatma tasarımcılarının ürün seçimi aşamasında çevresel etki değerlendirilmesi açısından uygun ürünleri seçmelerinin gerekliliği açıktır.

KAYNAKLAR

1. European Lamp Companies Federation web sayfası, (http://www.elcfed.org/1_health.html)

2. Dialux web sayfsı (http://www.dial.de/DIAL/en/dialux.html)

3. BEP-TR Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemi, Ek 05-Aydınlatma, 07 Aralık 2010 Perşembe, Resmi Gazete, Sayı: 27778, 2010.

4. ISO 14045 Çevre yönetimi - Ürün Eko-verimlilik değerlendirmesi sistemleri - Prensipler, kurallar ve ilkeler, 2012.

5. EN 15804:2012 Sustainability of Construction Works- Environmental Product Declarations- Core Rules for the Product Category of Construction Products, 2012.

6. Arkiv web sayfası (http://www.arkiv.com.tr/proje/itu-ari-teknokent-ari-3-binasi/1711)

7. EN 12464 Light and Lighting of Workplaces: Part1-Indoor Workplaces, 2011.

8. EN 15193 Energy Performance of Buildings-Energy Requirements for Lighting, 2006.

BİNALARA İLİŞKİN AYDINLATMA ENERJİ TÜKETİMİ ÖNGÖRÜLERİNDE ETKİN BİR DEĞER: KULLANICI KONTROLÜ

Araş.Gör. Arzu Cilasun[a]
Doç.Dr. Tuğçe Kazanasmaz[b]
Yaşar Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi
İzmir Yüksek Teknoloji Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi

ÖZET

Aydınlatma, binalardaki enerji tüketiminin en önemli bileşenlerinden biridir. Enerji tüketimini azaltmak için çeşitli yolların denendiği günümüzde, aydınlatmada tasarruf sağlanması için, kontrol sistemlerinin kullanımı sıklıkla önerilmektedir. Yapılan çeşitli akademik çalışmalarda, otomatik aydınlatma kontrol sistemi olmayan binalarda, elle kontrol etme (manuel) durumuna göre yaklaşık %30-60 daha fazla tasarruf sağlanabildiği vurgulanmaktadır. Ancak, gerçek koşullar göz önüne alındığında bu varsayımın hatalı olabileceği düşünülmektedir. Gün içerisinde, kullanıcıların ofislerini bir süreliğine terk etmeleri durumunda aydınlatma sistemini kontrol düğmesinden kapatabileceği gözardı edilmemelidir. Kullanıcıların ofis hacimleri içindeki davranışlarını inceleyen akademik çalışmalarda, kullanıcıların tamamını, binaya ilişkin (aydınlatma / soğutma / ısıtma / güneşkıran vb.) sistemlere müdahalede bulunmayan, pasif kullanıcı olarak nitelendirmenin mümkün olmadığı görülür. Kullanıcıların görsel konfor, biyolojik ritm ve motivasyon gibi çeşitli sebeplerle kontrol sistemi ile oluşturulmuş sabit aydınlık düzeyi ile ilgili sıkıntıları olduğu görülür.
Bu çalışmanın öncelikli amacı da, güncel araştırmalar gözden geçirilerek, kontrol sistemlerinin enerji tasarrufundaki etkisi göz ardı edilmeden, önceki çalışmalarda sıklıkla önemi ve katkısı küçümsenen kullanıcı kontrolünün önemine vurgu yapmaktır. Bir diğer amaç ise, binalarda enerji tüketimi öngörüsü yapılırken, tüm kullanıcıları pasif gibi düşünerek oluşturulmuş kullanıcı (manuel) kontrol değerlerinin, enerji tüketim hesaplarında hataya yol açabileceğini göstermektir.

Anahtar sözcükler: Aydınlatma, kullanıcı kontrolü, kontrol sistemleri, enerji performansı, manuel

ABSTRACT

Lighting is one of the biggest energy consumers in building. In order to reduce energy consumption, lighting control systems are commonly recommended and preferred. Many studies concluded that using control systems can save energy up to 60% when compared to the manual control. In fact, when we consider real situations, this assumption is not correct because during the day, users control their lighting system due to their absence. Some studies worked on manual control (not only for lighting but also for cooling/ventilation/heating etc.) and they concluded that, actually, users are not totally passive because users control the lighting system due to the visual comfort, biological rhythm and motivation issues,.
The main aim of this paper is to review current papers related with control systems' efficiency while mentioning user control, which is commonly under-estimated. In order to predict energy consumption realistically, user control factor should not be overlooked.

Key words: Lighting, manual control, control systems, energy performance, manual

[a] e-posta adresi: arzu.cilasun@yasar.edu.tr
[b] e-posta adresi: tugcekazanasmaz@iyte.edu.tr

1.GİRİŞ

Ondokuzuncu yüzyılın sonunda, akkor lambanın icadı ile birlikte, mimarlık ve aydınlatma ilişkisinde yeni bir devir açıldı [**1**].Yapay aydınlatmanın mimarlığın vazgeçilmez bir parçası olması, tasarımda günışığının önceliğini kaybetmesi ve enerji tüketiminin artmasına sebep oldu [**2**]. Günümüzdeyse, toplam enerji tüketimindeki aydınlatmayanın payı ticari yapılarda yaklaşık üçte bir iken, konutlarda ise yarıya yakındır [**3**, p. 161]. Tüketimin çokluğundan dolayı, aydınlatmada enerji tasarrufu için yeni metodlar geliştirilmeye çalışılıyor. Özellikle tasarımın başında alınmış, aydınlatma tasarrufuna yönelik kararlar enerji tüketiminde oldukça başarılı olmaktadır [**4**]. Günışığının daha fazla faydalanma ve kontrol sistemlerinin kullanımı sıklıkla başvurulan yöntemler arasında gelmektedir. Bu çalışmada kontrol sistemlerinin, aydınlatma amaçlı tüketilen enerji tasarrufunda sağladığı katkı örnekler eşliğinde tartışılacaktır.

2. AYDINLATMA KONTROL SİSTEMLERİ

Aydınlatma kontrol sistemleri enerji tasarrufu amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır. Enerji tüketimine ek olarak ticari binalar, eğitim kurumları, hastaneler ve ofis binalarında gerekli olan ışık miktarının nerede, ne zaman ve ne kadarlık bir süre için olması gerektiği gibi, görsel konfor gereksinimleri ile ilgili konuları da kapsar [**5**] [**6**]. Bu amaçla üretilmiş çeşitli kontrol sistemleri bulunmaktadır; varlık sensörü, günışığı sensörü, kişisel ve kurumsal kontrol sistemleri sıklıkla kullanılanlar arasındadır [**3**, p. 165]. Bu dört kontrol sistemine ek olarak, "daha az kullanılan işlev ayarı (*task tuning*), lumen koruma (*lumen maintenance*) ve yük azaltma (*load shedding*) gibi aynı amaca hizmet eden kontrol sistemleri de bulunmaktadır"[**5**].

Sıklıkla kullanılan bir kontrol sistemi türü olan varlık sensörü, hacimde kullanıcı olma durumuna göre aydınlatma sistemini kontrol eder. Hacimde kullanıcı olduğunda ışıkları açıp, olmadığında ise kapatan türleri olduğu gibi, sadece hacimde kullanıcı olmadığında ışıkları kapatan türleri de mevcuttur [**3**, p. 162].

Bir diğer kontrol sistemi ise, günışığı sensörüdür. Hacme giren günışığı sensör tarafından algılanarak, aydınlatma sistemi kontrol edilir. Bu kontrol sistemlerinde, günışığı sayesinde sensör üzerinde sağlanan aydınlık düzeyine bağlı olarak, aydınlatma sistemini yalnızca açıp kapatan türler olduğu gibi, aydınlatma sistemini dimmerleyen türler de bulunmaktadır [**6**] [**7**].

Kişisel kontrol sistemleri, kullanıcıların kişisel tercihlerine göre, çalışma alanlarındaki aydınlık düzeyini ayarlamalarını sağlar. Dimmer, kablosuz açma-kapama cihazları, bilgisayardan kontrol, önceden oluşturulmuş sahne tercihi gibi farklı teknolojilere sahip olabilen bu kontrol [**3**, p. 164], kullanıcının görsel komfora ilişkin tercihlerini yansıtır.

Kurumsal kontrolde ise, kurumun enerji politikalarını ya da hacim özellikleri ile gerçekleştirilmekte olan işlev düşünülerek aydınlık düzeyi belirlenir [**3**, p. 165]. Bu kontrol türünde kullanıcıların aydınlatma düzenine olan müdahalesi pasifize edilir.

3. KONTROL SİSTEMLERİNİN ENERJİ TASARRUFUNDAKİ ETKİNLİĞİ

Günümüzde, görsel konfor koşullarından ödün vermeden, aydınlatmaya bağlı enerji tüketimini azaltmak için çeşitli kontrol sistemleri geliştirildi. Sistemlerin verimliliklerini inceleyen pek çok farklı çalışma yapıldı. Araştırmacılar, bu kontrol sistemlerinin işe yararlığı konusunda hemfikir olsalar da, enerji tasarruflarını sayısallaştırmada farklı uyuşmazlığa düşmekteler [**8**, p. 514]. Her araştırmanın farklı bir amaç, yöntem ve sonucu olduğu düşünülünce, kontrol sistemlerinin tasarrufuna ve avantajlarına ilişkin objektif karara varmak güçleşmektedir.

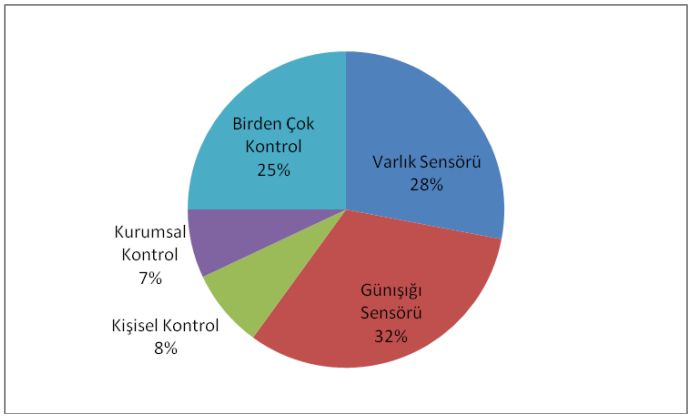
Söz konusu aydınlatma için harcanan enerji tüketimini hesaplamak olunca, önceki çalışmalar incelenerek doğrudan bir yargıya varmak mümkün olmamaktadır. Yapılan çalışmalar sanal ya da mevcut yapılardaki enerji tüketimini gözlemlemiştir. Bu çalışmaların sonuçları kadar amaçlarının, kapsamının, yöntemlerinin ve kabullerinin de büyük farklılık gösterdiği görülmektedir [**3**], [**8**]. Özellikle Williams vd (2012) enerji tüketiminin gözlenmesi çalışmalarında kullanılan yöntemlerin farklılığını göstermek için iki örneğe yer vermiştir. Bu örneklerden biri, Amerikan Çevre Koruma Ajansı'na referans veren VonNeida vd. (2000)'nin araştırmasıdır [**9**]. Bu araştırmada, gerçek uygulamalardaki ölçüm sonuçları dikkate alınarak enerji tüketimi değerlendirilir. İkinci örnek ise Kanada Ulusal Araştırma Konseyi ve Florida Güneş Enerjisi Merkezi'ni referans veren Parker vd. (1996)'nin araştırmasıdır [**10**]. Burada da laboratuvarda edinilen enerji tüketimi sonuçları kullanılır. Bazı çalışmalarda kontrol sistemlerinin etkinliğini yalnızca aydınlatma üzerinden incelerken [**11**],bazıları böyle bir ayrıma gitmemiş örneğin, Deru vd. (2006) diğer mekanik sistemlerle bütünleşik olarak irdelemiştir [**12**]. Ayrıca çalışmaların bir kısmı cam türü, güneşlik ve yönün enerji tasarrufundaki etkisini [**13**] irdelerken, Granderson vd. (2010) hacim türü ve işlevini odak noktasına koyarak bu analizi gerçekleştirmiştir.

Kontrol sistemlerinin enerji tüketimindeki etkisini incelemek üzere yapılmış çalışmalar ise, diğerlerine oranla oldukça kısıtlı olmakla birlikte aynı değişkenliği göstermektedir. Örneğin, Guo vd. (2010) [14] ise yedi farklı çalışmaya dayanarak, kullanıcı varlık sensörünün etkisinin %3-86 arası değiştiğini belirtmektedir **[3]**. Günışığı sensörleri ile ilgili çalışmalarda ise enerji tasarrufunun %30 ile %77 arasında sağlanabildiği görülmüştür [**7**, p. 509].

IESNA'nın hazırladığı aydınlatma kitapçığında (2000), kontrol sistemlerinin maliyete olan etkisini belirlemenin kolaylığına karşılık, performansının belirlemenin zor olduğuna değinilmiştir. Çünkü kontrol sistemleri, projenin konumu, günışığı düzeyleri, hacmin büyüklüğü, çalışma saatleri ve işleve bağlı olduğu kadar kullanıcının yaklaşımı ve eğitiminden de büyük ölçüde etkilenmektedir **[15].** Ayrıca yönlenmenin ve gökyüzü türünün de etkileri göz ardı edilmemelidir. Örneğin, Norveç'te gerçekleşen bir çalışmada, günışığına bağlı kontrol sistemlerinin uygulandığı güney ve kuzeye bakan hacimlerdeki enerji tasarrufu farklılığının %10 ile %20 arasında değişiklik gösterebildiği belirtilmiştir [**8**, p. 514]. Gökyüzü türüne göre enerji tasarrufunun %16 ile %35 arası bir farklılık gösterdiği de başka bir çalışma tarafından vurgulanır [**16**].

Kontrol sistemlerinin verimlilikleri pek çok değişkene bağlı olduğu için, her ne kadar bu çalışmaları birbiri ile kıyaslamak çok doğru olmasa da, Williams vd. (2012), bu alanda yapılmış 88 bilimsel yayının sonuçları arasında bir kıyaslama yaparak aşağıdaki grafiği elde etmişlerdir

[**3**]. **Şekil 1**'de görüldüğü gibi, bu çalışmaya göre günışığı sensörlü hacimlerde tasarruf oranı %32 iken, kişisel kontrol %8 oranında kalmaktadır.



Şekil 1: Farklı kontrol sistemlerinin enerji tasarruf yüzdeleri [3]

Şu noktaya kadar tartışıldığı üzere, kontrol sistemlerinin etkinliği pek çok farklı parametreye bağlıdır. Herhangi bir kriterin değişmesi, sonuçlarda önemli ölçüde değişikliğe sebep olabilmektedir. Bu nedenle, Reinhart (2004) aydınlatma tasarımcılarının en doğru aydınlatma kontrol sistemine, kendi deneyimleri, anekdotsal kanıt ve bilgisayar destekli simulasyonlara dayanarak karar vermesi gerektiğini belirtmiştir [**15**]. Reinhart'ın çalışmasında yaptığı bu önerinin kapsamında olan deneyim ve anekdotsal kanıt dayanağının oldukça öznel ve tartışmaya açık olduğu aşikardır. Bilimsel bir çalışma yapılırken bu üç öneri içinden, en güvenilir olanın sıklıkla başvurulan yöntem olan bilgisayar destekli simulasyon olduğu görülür.

Bilgisayar destekli simulasyonlar, binaların enerji tüketimini düşürmek için, henüz tasarım aşamasında iken enerji tüketimi hesaplanıp öngörülür hale getirebilir. Bu hesaplamalarda, binaya ilişkin girilen değerlerin doğruluğu, öngörülen tüketim miktarı ile gerçekte olan tüketim miktarı sonuçları arasındaki farkı azaltır. Bu hesaplamalarda yapıya ilişkin; binanın türü, ebatları, yönlenişi, yapı elemanları, kullanıcı sayısı, çalışma saatleri gibi sabit olması beklenen değerlere ek olarak, bir önceki bölümde geçtiği gibi, var ise, kontrol sistemlerine ilişkin değerler de girilmelidir. Dolaysıyla bu simulasyonlar için girilen değerler ne kadar kesin ve gerçekçi ise, sonuçlar da aynı şekilde gerçekçi ve güvenilir olabilir.

4. ENERJİ TÜKETİMİNDE ETKİN BİR FAKTÖR: KULLANICI

Yapıların enerji performansını etkileyen ve henüz bu çalışmada detaylı değinilmeyen başka bir önemli değişken daha bulunmaktadır; "kullanıcı faktörü". Kullanıcılar, varlıkları ve yapıda gerçekleştirdikleri aktiviteleri ile hacmin çevresel özelliklerini etkiler, değiştirir [**4**, p. 295]. Kullanıcılar, hacimdeki bir çevresel özelliği değiştirirken, diğerlerini de etkileyebilir. Örneğin, güneşlikleri açarak yapay aydınlatma yükünü azaltan bir kullanıcı, hacime giren fazla günışığının etkisiyle oda sıcaklığını, dolayısıyla da soğutma yükünü arttırabilir. Bu gibi etkiler, kullanıcı kontrolünü ve onun fiziksel çevre koşullarına olan etkilerini kestirmeyi zorlaştırır.

Kullanıcı faktörünün binadaki etkinliğini göz ardı etme konusunda bir eğilim olduğu görülmüştür. Örneğin, **Çizelge 1**'de görüldüğü gibi, Avrupa Standardı 15193'te [**17**], aydınlatma kontrolüne ilişkin kullanıcı kontrolünün, kontrolsüz anlamına da gelen, "1.00" katsayısı ile kabul edilmektedir.

Çizelge 1: EN 15193 (2006)'ya göre kullanıcı kontrolü katsayıları

Table D.1 — F_{OC} values

Systems without automatic presence or absence detection	F_{OC}
Manual On/Off Switch	1.00
Manual On/Off Switch + additional automatic sweeping extinction signal	0.95
Systems with automatic presence and/or absence detection	F_{OC}
Auto On / Dimmed	0.95
Auto On / Auto Off	0.90
Manual On / Dimmed	0.90
Manual On / Auto Off	0.80

Bu kabul, 09.00-18.00 saatleri arasında, bir işyerinde çalışan kullanıcıların aydınlatma sistemini sabah 09.00'da açıp, çıkış saati olan 18.00'e kadar kapatmadığını belirtmektedir. Bu standardın pek çok çalışma tarafından kabul görüp referans gösterildiği düşünüldüğünde, böyle bir varsayımın pek çok hesap tarafından kullanıldığı sonucuna varılabilir. Halbuki yapılan çalışmalarda kullanıcının bu kadar etkisiz olmadığı görülmüştür. Dolayısıyla bu varsayım, bu standardı referans alarak yapılan çalışmaların sonuçlarının güvenirliğine gölge düşürmektedir.

5. KULLANICI KONTROLÜ MODELLERİ

Kullanıcı kontrollünün tamamen etkisiz olduğuna karşı çıkılmasına rağmen, etkinliğini kestirmesi bu kontrol tipinin çok çeşitli sebeplere bağlı olmasından dolayı zordur. Kullanıcı kontrolünün öngörülebilmesi için, kullanıcı eğilimleri ve tercihlerinin bilinmesi gerekmektedir. Simulasyonlarda kullanılacak gerçekçi kullanıcı kontrolü modeli elde etme üzerine yapılan çeşitli çalışmalar bulunmaktadır.

Bu çalışmaların en eskisi Hunt'ın 1979 yılında, kullanıcı kontrolünü incelemek üzere yaptığı bir alan çalışmasıdır. Hunt, belirli çalışma saatleri içinde yapay aydınlatmayı kontrolünü ve yıl içindeki aydınlık düzeyi değerlerinin değişimini inceleyerek bazı varsayımlara ulaşmıştır. Bunlardan biri, kullanıcıların sabah ofise girdiklerinde ışıkları yakıp, ayrılırken kapattıkları idi [**13**]. Hunt'ın çalışmasında, gün içerisindeki ofisi kısa/uzun süreli terk etmelerdeki kullanıcı davranışları incelenmemiştir [**15**, p. 3].

Newsham (1994) , Hunt'ın bu çalışmasını geliştirmiştir. Newsham'ın yaptığı çalışmaya göre, kullanıcılar sabah ve öğle yemeği dönüşü hacme girdiklerinde çalışma düzlemi üzerindeki aydınlık düzeyi 150 lux'ün altında ise ışıkları açma eğilimi göstermektedirler [**14**]. Fakat

Newsham'ın modelinde de gün içindeki açma kapama davranışları kapsam dışı bırakılmıştır[**15,** p. 3].

Love (1998), çalışmasında kullanıcıları, aydınlatma sistemi üzerindeki stokastik işlev ve etkin tepkilerine göre, "aktif" ve "pasif" olmak üzere iki gruba ayırmıştır **[15].** Burada aktif olarak belirtilenler kullanıcıların, yapay aydınlatma ve güneşlikler kullanılarak günışığından yararı arttırmaya çalışan kullanıcılar olduğunu, pasif kullanıcıların ise aydınlatma sistemine hiç bir müdahalede bulunmayan olanlar olduğunu görmekteyiz.

Love'ın çalışmasını referans alarak baktığımızda, kullanıcıların tamamını pasif olarak kabul eden varsayım üzerine kurulmuş enerji performans hesaplarının gerçekçi sonuçlar veremeyeceği görülmektedir. Kullanıcının hem hacme giriş-çıkışı sırasında, hem de değişen günışığı penetrasyonunda aydınlatma sistemine hiç müdahalede bulunmayacağını kabul etmenin hatalı olacağı düşünülmektedir.

Kullanıcıların davranışlarını gözlemleyen bu çalışmaların bulgularının yer yer benzeşmekte olduğunu görmekteyiz. Özetlemek gerekirse, bu çalışmaların ortak çıkarımı, kullanıcıların aydınlatma sistemine en yoğun olarak mekana giriş ya da çıkışlarda müdahalede bulunduğudur **[14][15][16]**). Ayrıca aydınlatma aygıtlarını açma durumunun, hacime girildiği andaki günışığı miktarı ile oldukça ilişkili olduğu görülmüştür **[14][15]**. Bir başka önemli çıkarım ise hacimden çıkarken kullanıcıların aydınlatma aygıtlarını kapatmalarının, hacimde bulunmayacakları sürenin uzunluğu ile bağlantılı olduğudur.

6. TARTIŞMA

Kullanıcı kontrolünün etkisini kabul edip, bir önceki bölümde tartışılan, kontrol sistemlerinin etkinliğine bakıldığında, verilen yüzde değerlerine nasıl ulaşıldığı sorusu akla gelmektedir. Daha açık belirtmek gerekirse, örneğin **Şekil 1**'de görülen Williams'ın çalışmasında %28 tasarruf yapıldığı belirtilen varlık sensörünün hangi duruma kıyasla %28'lik tasarruf sağlamaktadır? Tasarrufun yapılmadığı durum, kullanıcının "kontrolsüz", yani pasif olduğu varsayımına mı dayanmaktadır? Benzer şekilde günışığına bağlı kontrol sisteminin %32 oranında tasarruf ettiğinin belirtildiği aynı çalışmada **[3]**, bu tasarrufun kullanıcıların yön, mevsim, saat, güneşlenme durumu gibi etkenlerin hiçbirine müdahalede bulunmadığı durumla oranlanarak elde edilmiş bir değer olup olmadığı sorusunu akla getirmektedir. Yapıların enerji tüketimini azaltmak için çeşitli önlemler alırken, bu gibi bazı belirsiz noktaların açığa çıkması yanılsamaları önler.

7. SONUÇ

Bu çalışmada, aydınlatmanın yapılardaki enerji tüketiminin önemli bileşenlerinden biri olduğu için bu tüketimi azaltmanın yolları tartışılmıştır. Günümüzde aydınlatma amaçlı tüketilen enerjinin azaltılması için sıklıkla önerilen ve tercih edilen bir yöntem olarak kontrol sistemleri karşımıza çıkmaktadır. Pek çok çeşidi bulunan kontrol sistemlerinin, önceki çalışmalarda elde edilen tasarruf yüzdeleri bu çalışmada sunulmuştur. Bu tasarruf yüzdelerini elde ederken kullanılan, "tasarrufsuz" durum olarak kabul edilen kullanıcı kontrolü ve onunla ilgili çalışmalara da değinilmiştir. Kullanıcı kontrolünün etkisiz olduğu kabulü ile yürütülen çalışmalara zıt olarak,

bu belirsizliği ortadan kaldırmayı hedeflemiş, kullanıcı kontrolünü gözlemleyerek kullanıcı kontrol modeli oluşturma çalışmalarına da değinilmiştir.

Hacimlerin kullanıcılar için yapıldığının ve kullanıcıların bu hacimlerle sürekli etkileşim halinde olduğu düşünülünce, kullanıcı kontrolünün azımsanmaması gereken bir faktör olduğu düşünülmektedir. Kontrol sistemlerinin kullanımı enerji tüketimini azaltmada faydalı olsa da, kullanıcıların memnuniyetini ve kullanıcı faktörünün etkinliğini de göz ardı etmemek gerektiğine inanılmaktadır.

KAYNAKLAR

1. G. H. Kutlu, "An Evaluation Methodology for Assessing Artificial Lighting Quality in Architecture : The Case Of Apikam A Thesis Submitted to in Architecture by," Izmir Institute of Technology, 2007.

2. M. Velds, "assesment of lighting quality in office rooms with daylighting systems," TU Delft, 2000.

3. A. Williams, B. A. Pe, K. Garbesi, E. P. Pe, and F. R. Fies, "Lighting Controls in Commercial Buildings," *Leukos*, vol. 8, no. 3, pp. 161–180, 2012.

4. P. Hoes, J. L. M. Hensen, M. G. L. C. Loomans, B. de Vries, and D. Bourgeois, "User behavior in whole building simulation," *Energy Build.*, vol. 41, no. 3, pp. 295–302, Mar. 2009.

5. J. D. Jennings, F. M. Rubinstein, D. Dibartolomeo, E. Orlando, L. Berkeley, and S. L. Blanc, "Comparison of Control Options in Private Offices in an Advanced Lighting Controls Testbed," *Illum. Eng. Soc.*, no. Summer, 2000.

6. IEA ECBCS, "Lighting control systems," in in *Annex 45 Energy efficient Electric Lighting for Buildings*, pp. 137–182.

7. P. Ihm, A. Nemri, and M. Krarti, "Estimation of lighting energy savings from daylighting," *Build. Environ.*, vol. 44, no. 3, pp. 509–514, Mar. 2009.

8. B. Roisin, M. Bodart, A. Deneyer, and P. D'Herdt, "Lighting energy savings in offices using different control systems and their real consumption," *Energy Build.*, vol. 40, no. 4, pp. 514–523, Jan. 2008.

9. A. B. Vonneida, D. Maniccia, A. Tweed, and M. Street, "An analysis of the energy and cost savings potential of occupancy sensors for commercial lighting systems ENERGY STAR Buildings Program," in in *Proceedings of the Illuminating Engineering Society of North America 2000 Annual Conference*, 2000, pp. 433–459.

10. L. Schrum, D. S. Parker, D. B. Floyd, and F. Solar, "Daylight Dimming Systems : Studies in Energy Savings and Efficiency," in in *Proceedings of the 1996 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings 4*, no. Crisp 1977, 1996, pp. 311–319.

11. G. Newsham, S. Mancini, J. Veitch, R. Marchand, W. Lei, K. Charles, and C. Arsenault, "Control strategies for lighting and ventilation in offices: effects on energy and occupants," *Intell. Build. Int.*, vol. 1, no. 2, pp. 101–121, Feb. 2009.

12. M. Deru, S. Pless, and P. Torcellini, "BigHorn Home Improvement Center Energy Performance," in *ASHRAE Annual Meeting*, 2006, no. April.

13. A. D. Galasiu, M. R. Atif, and R. a MacDonald, "Impact of window blinds on daylight-linked dimming and automatic on/off lighting controls," *Sol. Energy*, vol. 76, no. 5, pp. 523–544, Jan. 2004.

14. X. Guo, D. Tiller, G. Henze, and C. Waters, "The performance of occupancy-based lighting control systems: A review," *Light. Res. Technol.*, vol. 42, no. 4, pp. 415–431, Aug. 2010.

15. C. F. Reinhart, "Lightswitch-2002 : a model for manual and automated control of electric lighting and blinds A versio," *Sol. Energy*, vol. 77, no. 1, pp. 15–28, 2004.

16 S. Onaygıl and Ö. Güler, "Determination of the energy saving by daylight responsive lighting control systems with an example from Istanbul," *Build. Environ.*, vol. 38, no. 7, pp. 973–977, Jul. 2003.

17. "EN 15193 : Energy performance of buildings — Energy requirements for lighting Contents," 2006.

TOPLU KONUT YERLEŞMELERİNİN GÜNEŞ IŞINIMI KAZANCI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Y.Mimar Fadime Yalçınkaya Çalışkan[a]
Y.Doç.Dr. Gülten Manioğlu[b]
Öğr.Gör.Dr. Şule Filiz Akşit[c]
İTÜ Mimarlık Fakültesi
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

ÖZET

Bu çalışmada İstanbul'da farklı dönemlerde yapılmış iki toplu konut yerleşmesinin güneş ışınımı kazancı açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Enerji korunumlu toplu konut tasarım sürecinde etkili olan iklimsel değişkenlerden güneş ışınımı ve fiziksel çevresel değişkenlerden de bina aralıkları değişkenleri ele alınmıştır.
Toplu konut yerleşmelerinin güneş ışınımı kazancı açısından değerlendirilmesinin adımları açıklanıp, İstanbul'da tasarlanmış ve uygulanmış olan iki toplu konut yerleşmesinin güneş ışınımı kazancı açısından değerlendirilmesi açıklanan adımlar çerçevesinde incelenmiştir. Seçilen iki yerleşmeye ait gölge analizleri ve binaların direkt güneş ışınımı kazançlarına ait grafikler verilmiştir.

Anahtar sözcükler: Güneş Işınımı, Gölge Analizleri, Enerji Korunumu, Toplu Konut

ABSTRACT

In this study, the performance of two different mass housing settlements in İstanbul built in different periods, have been evaluated in terms of solar radiation gain. Energy efficient design parameters affecting mass housing design are discussed and two of the most important parameters; solar radiation and distance between buildings are discussed and explained.
Steps of the performance evaluation of mass housing settlement in terms of solar radiation gains are described. The solar radiation gain of two current mass housing settlements are evaluated. Graphics related to shadow analysis of the settlement and direct solar gains of buildings are given.

Key words: Solar Radiation, Shadow Analysis, Energy Conservation, Mass Housing

[a] e-posta adresi: fadimeyalcinkaya@gmail.com
[b] e-posta adresi: manioglu@gmail.com
[c] e-posta adresi: aksitf@itu.edu.tr

1.GİRİŞ

Üretim ve kullanım sürecinde yapıların enerji tüketim miktarının, dünyada tüketilen toplam enerjinin büyük bir bölümünü kapsaması, 1973'te yaşanan büyük enerji krizinden sonra dikkatlerin yapı sektörüne yönlenmesindeki en büyük etkendir. Sayısal konut açığını kapatmak ve çok sayıda kişiyi konut sahibi yapmak amacıyla üretilen toplu konut yerleşmeleri benzer ve çok sayıda üretildiklerinden, tasarım aşamasında alınacak kararlar aynı anda yüzlerce konutu ve binlerce kullanıcıyı etkilemektedir. Bu nedenle, kentlerde oluşan büyük konut açığını kapatmak üzere yapılan toplu konut yerleşmelerinde enerji korunumu, tek binalara göre daha da önem kazanmaktadır.
Binaların tasarımında ele alınan; hacimlerin ve binaların yönlendiriliş biçimi, hacimlerin boyutları ve hacimleri çevreleyen yapı elemanlarının fiziksel özellikleri gibi tasarım değişkenleri binaların enerji harcamaları üzerinde etkili olduğu gibi, binaların yükseklikleri ve birbirlerine göre konumları da enerji korunumlu toplu konut yerleşmelerinde enerji harcamalarını etkileyen ve dikkatle ele alınması gereken değişkenlerdir. Bu çalışmada toplu konut yerleşmeleri, enerji korunumu açısından ele alınmış, seçilen bölgeler yerleşim ve bina ölçeğinde incelenmiştir. Konut yerleşmelerinde enerji korunumunda etkili olan değişkenler incelenmiş, İstanbul'da yer alan iki toplu konut bölgesi bu değişkenler açısından değerlendirilmiştir.

2. TOPLU KONUT YERLEŞMELERİNDE GÜNEŞ IŞINIMININ ENERJİ KORUNUMU ÜZERİNDE ETKİLERİ

Toplu konutlar; belirli bir arazi parçası üzerinde, çok sayıda insanın barınma ihtiyacını karşılayan, içinde alış-veriş, eğitim, yeşil alan, sağlık gibi sosyal ve kültürel gereksinmeleri kapsayan yerleşme birimleri olarak tanımlanabilir. Mimarın görevi; binaların ve yerleşim birimlerinin, kullanıcıların biyolojik, psikolojik, fizyolojik ve sosyo-kültürel ihtiyaçlarının tümüne en uygun biçimde cevap veren enerji korunumlu yapma çevreyi oluşturmaktır. Bu süreçte, ihtiyaçların tümüne optimum cevap verebilecek tasarım için, süreci etkileyen değişkenlerin bilinmesi gerekir. Tasarım aşamasında bu değişkenlere ilişkin doğru kararların alınmasıyla enerji korunumlu toplu konut yerleşmeleri tasarlayabilmek mümkündür. Bu çalışmada enerji korunumlu toplu konut tasarım sürecinde etkili olan iklime ilişkin güneş ışınımı ve yapma çevreye ilişkin bina aralıkları değişkenleri ele alınmıştır.

2.1. Güneş Işınımı ve Enerji Korunumu

Toplu konut yerleşmelerini oluşturan binalar dış iklimsel koşulların etkisi altında olduğundan binaların bulunduğu yere ait iklimsel değişkenler, tüketilen enerji miktarını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Dış iklimsel koşullar binaların birbirleriyle ilişkilerini ve onları saran kabukların iç mekanda yarattığı konfor koşullarını etkiler. Bu etkilerin toplu konutlarda enerji korunumlu hale getirilebilmesi, iklimsel değişkenlerin bölgelere ait gerçek atmosfer koşullarındaki değerlerinin ele alınarak tasarım sürecinde kullanılması ile mümkün olabilir.
İklimsel konfor koşulları, tasarım aşamasında, iklimsel konforun minimum yapma enerji harcanarak sağlanabildiği binalar için, tasarım değişkenlerinin belirlenmesine, kullanım aşamasında, binaların iklimsel konfor açısından, istenen performansı gösterip göstermediğinin değerlendirilmesine, enerji ekonomisi sağlamak amacı ile, binalarda (pasif sistemlerin yeterli olmadığı durumlarda) aktif sistemlerinin belirlenmesine ve kontrol edilmesine temel teşkil eder [**1**]. Dış çevredeki iklim durumu, dış iklim elamanlarının ulaştığı değerlerin bir bileşkesi olarak

tanımlanmaktadır. Dış iklim koşulları yörelere göre değişim gösterdiklerinden dış iklimsel değişkenler, tasarımın girdileri olarak ele alınmalı ve binalar, dış iklim koşullarının ulaştığı değerlere bağlı kalınarak pasif ısıtma ve iklimlendirme sistemleri olarak tasarlanmalıdır.
Dış iklimsel değişkenler; güneş ışınımı, dış hava sıcaklığı, dış hava nemliliği ve rüzgardır. Güneş ışınımı, havanın toprağın ve çevredeki diğer cisimlerin ısınmalarına sebep olarak, sıcaklık değişimlerine neden olmaktadır. Bir yapı yüzeyini etkileyen güneş ışınımı; direkt, yaygın ve yansımış olmak üzere üç ayrı bileşenden oluşur. Direkt güneş ışınımı; doğrultusunda bir değişiklik olmadan atmosferden geçerek yapı yüzeylerine ve bina kabuğunun optik ve termofizksel özelliklerine bağlı olarak bina iç ortamına ulaşan kısa dalga ışınımıdır. Yaygın güneş ışınımı; atmosferdeki toz, hava molekülleri ve su buharı zerreciklerine çarparak saçılan ve atmosferde yaygın duruma geçtikten sonra doğrultusu belirsiz olarak yapı yüzeylerini etkileyen güneş ışınımı bileşenidir. Yansımış güneş ışınımı ise; çevre yüzeylerden ve çoğunlukla yeryüzeyinden yansımış olarak yapı yüzeylerini etkileyen güneş ışınımı bileşenidir.

2.2. Bina Aralıkları ve Enerji Korunumu

Bina aralıkları,ve yönlendiriliş durumu yapma çevreye ilişkin değişkenler arasındadır. Binalar, aralarındaki aralıklara, yüksekliklerine ve birbirlerine göre olan konumlarına bağlı olarak, birbirleri için güneş ışınımı ve rüzgar engelleri olarak işlev görebilirler. Bu nedenle güneş ışınımının ısıtıcı etkisinden pasif ısıtma ve iklimlendirmede yararlanma veya kaçınma, binalar arasındaki açık mekanların ölçülerinin bir fonksiyonudur. Güneş ışınımı bir engele çarptığında (örneğin çevredeki bir bina) engelin etrafında, gün boyunca güneşin açısal durumuna bağlı olarak, bu engelin yaratacağı gölgelenmiş alanda boyutsal değişimler olacaktır. Güneş ışınımının cepheleri en üst yeğinlikte etkilemesi istendiğinde bina aralıkları, komşu (veya çevre) binaların verdiği en uzun gölgeli alan derinliğine eşit ya da bu gölge derinliğinden daha fazla olmalıdır.
Bina içi iklimsel konforu etkileyen dış iklim elemanlarından güneş ışınımı ve rüzgar, çevre binaların veya diğer engellerin ele alınan binadan uzaklığına, yüksekliğine ve bu binaya göre konumlandırılış durumuna bağlı olarak değişiklik gösterir. Çevre binaların ve diğer engellerin ele alınan binaların cephelerinde oluşturacağı gölgeli alanlarda doğrudan güneş ışınımından ısı kazancı söz konusu değildir. Bu nedenle binanın güneş ışınımından kazandığı ısı miktarının bir fonksiyonu olan iç hava sıcaklığı ve ortalama ışınımsal sıcaklık gibi iklimsel konforu etkileyen iç iklim elemanlarının değerleri cepheleri hiç gölgelenmemiş bir binaya oranla çok daha düşük olacaktır [**2**]. Toplu konut yerleşmesi tasarım sürecinde bina aralıkları ve buna bağlı olarak vaziyet planları, binaların güneş ışınımı etkisinden optimum yararlanabilecekleri saat aralıkları için gölge analizleri yapılarak oluşturulmalıdır.

3. TOPLU KONUT YERLEŞMELERİNİN GÜNEŞ IŞINIMI KAZANCI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ: ATAKÖY ÖRNEĞİ [3]

Ülkemizde üretilen ilk toplu konut projelerinden biri olan Ataköy Uydu Kent Projesi eski adı Baruthane olan Ataköy'de yer almaktadır. Projede apartman bloğu tarzındaki yapılarıyla 11 kısımda toplam 12.000 adet konut bulunmaktadır [**4**]. Ataköy 1.Kısım ve 50 yıl aradan sonra yapılan Ataköy Konakları (6.Kısım) toplu konut yerleşmeleri; aynı iklim bölgesinde ve aynı sahil şeridi üzerinde olmalarına rağmen vaziyet planları, plan şemaları ve bina yönlendirilişleri açısından farklılık göstermektedirler (Şekil 1). Bu nedenle Ataköy 1.Kısım ve Ataköy Konakları toplu konut yerleşmeleri güneş ışınımı kazancı açısından değerlendirilmiştir.



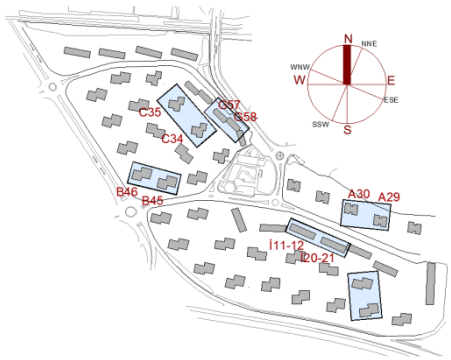
Şekil 1: Ataköy I.Kısım ve Ataköy Konakları

İstanbul Ataköy Uydu Kent Projesi (40° N enlem) ılımlı nemli iklim bölgesinde yer almaktadır. Ilımlı nemli iklim bölgelerinde ısıtmanın istendiği dönem süresi daha uzun olduğundan, ısıtma enerji harcamalarını azaltmak hedeflenmiştir. Bu hedefe yönelik olarak bina aralıkları ve gölge analizleri Ataköy I.Kısım ve Ataköy Konakları için ısıtmanın istendiği dönemi temsil eden 21.Ocak günü için, Revit 2009 [**5**] programında, saat 10:00-16:00 arası için yapılmıştır.
Ele alınan toplu konut yerleşmelerinde yapılan gölge analizleri sonucunda bina cephelerinin direkt güneş ışınımında kalma sürelerini belirlemek mümkündür. Bu analizler sonucu; bina cephelerinin ısıtmanın istendiği dönemde gün içinde yönlere bağlı olarak hangi saatlerde direkt güneş ışınım kazandıkları değerlendirilebilir.

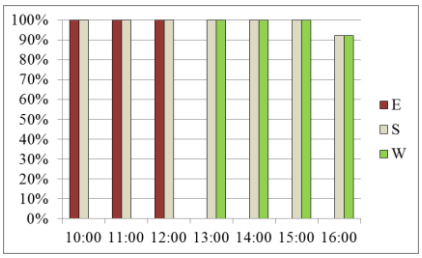
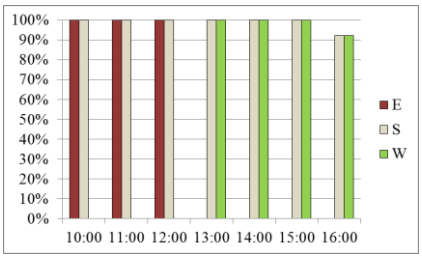
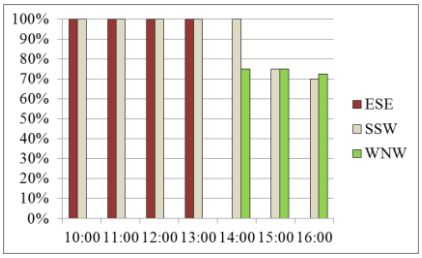
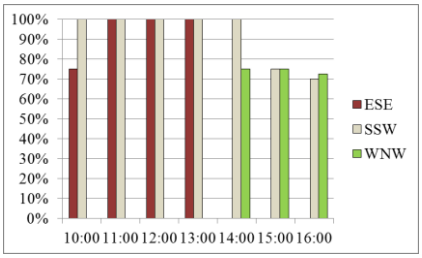
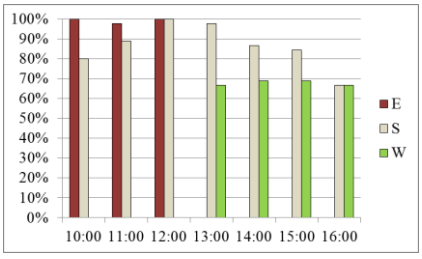
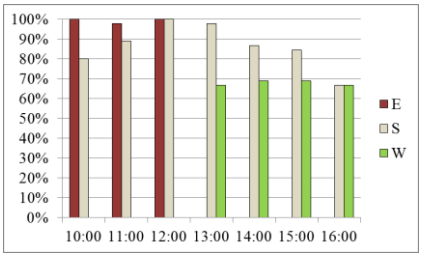
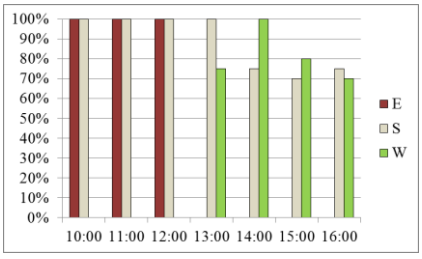
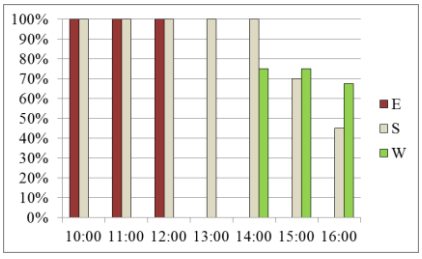
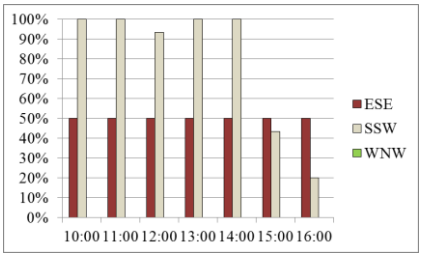
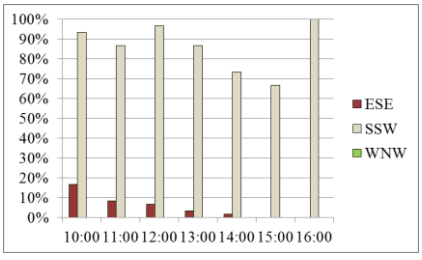
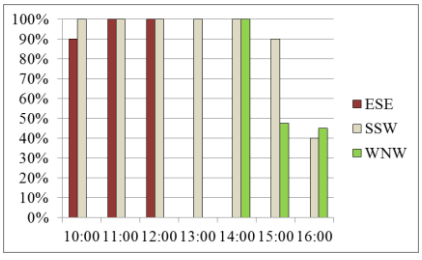
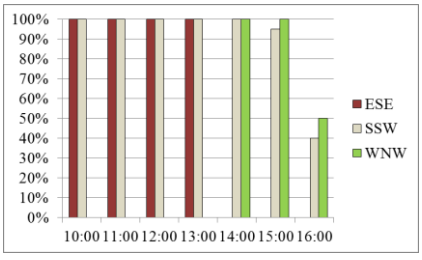
3.1. Ataköy I.Kısım (I. Kısım)

Ataköy Uydu Kent Projesinin ilk etabı olan Ataköy 1.Kısım'ın mimarı Luigi Piccinato'dır. 1.Kısım, Bakırköy'den batıya doğru alçalan bir sırt üzerinde 18 hektarlık bir alan üzerinde kurulmuştur. İnşaatına 1957 yılında başlanmış ve 1962 yılında tamamlanmıştır [**6**]. Organik bir yapıya sahip yerleşmede, alanları 100 ile 250 m² arasında değişen farklı plan tiplerine sahip 662 adet daire bulunmaktadır.
Ataköy 1.Kısım toplu konut yerleşmesinde farklı biçim ve yüksekliklere sahip bloklar mevcuttur. Bu blokların tümü vaziyet plan düzleminde arazinin topoğrafik yapısı ve yönü dikkate alınarak yerleştirilmişlerdir. Yerleşmenin kuzey sınırında yer alan en yüksek blok tipi olan A Bloklar, vaziyet planındaki yerleşimleri ve bina aralıkları sebebi ile birbirlerine güneş engeli teşkil etmemektedirler (Çizelge 1). Diğer yüksek blok tipi olan C Blokların, kuzey yönünde önlerinde yer alan G bloklarla birlikte değerlendirildiğini, gölge analizlerine göre tüm blokların optimum yerleştirildiğini söylemek mümkündür. Daha az yüksek olan B, D ve İ tipi bloklar kendilerine göre yüksek olan blokların güney yönünde, arazi içinde birbirlerine güneş engeli teşkil etmeyecek şekilde yerleştirilmişlerdir. Toplu konut yerleşmelerinin güneş ışınım kazancı açısından değerlendirmesi amacı ile; aynı tip yönlendiriliş durumu ve bina aralıkları nedeniyle farklı performans göstereceği öngörülen temsili binalar A29 ve A30, B46 ve B45, C34 ve C35, D17 ve D18, G58 ve G59, İ11-12 ve İ20-21 olarak belirlenmiştir (Çizelge 1). Seçilen temsili binaların direkt güneş ışınımı alan cephe alanının toplam cephe alanına oranları hesaplanmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 1: Ataköy I.Kısım 21.Ocak Gölge Analizleri

Genel yerleşim ve seçilen bloklar		*Saat 10:00*	
Saat 11:00		*Saat 12:00*	
Saat 13:00		*Saat 14:00*	
Saat 15:00		*Saat 16:00*	

Çizelge 2: Ataköy I.Kısım'da Temsili Binaların Direkt Güneş Işınımı Alan Cephe Alanının Toplam Cephe Alanına Oranı

A 29		*A 30*	
B 45		*B 46*	
C 34		*C 35*	
D 17		*D 18*	
G 57		*G 58*	
İ 11-12		*İ 20-21*	

3.2. Ataköy Konakları (VI. Kısım)

Ataköy 6. Kısımda yer alan projenin, 2008 yılında gelir paylaşma esasına göre inşaatı ve satışı; TOKI tarafından yaptırılmıştır. Zeytinburnu-Yeşilköy aksında sahilde yer alan Ataköy Konakları batısında Ayamama Deresi ile sınırlı olup, proje yaklaşık 18 hektar üzerine konumlandırılmıştır. Grid yerleşim planına sahip projede 58 blokta toplam 952 daire, açık ve kapalı otoparklar, çocuk oyun alanları, süs havuzları, açık ve kapalı yüzme havuzları, açık spor alanları ve bir Alışveriş Merkezi mevcuttur. 160 m² ile 250 m² arasında değişen daireler beş farklı plan tipinden oluşmaktadır.

Ataköy Konakları yerleşmesinde farklı biçim ve yüksekliklere sahip bloklar mevcuttur. Bu blokların tümü vaziyet planı düzleminde ele alınan grid sistem içinde yerleştirilmişlerdir. Diğer bloklara göre daha yüksek olan D bloklardan iki adedi yerleşmenin kuzey sınırındadır. Bu iki blok yönlendirişleri ve bina aralıklarının yeterli olmaması sebebi ile gölge etkisi altında kalmaktadırlar (Çizelge 3). Yerleşmenin batısında yer alan D Bloklar ise birbirlerine ve diğer bloklara güneş engeli teşkil etmektedirler. Daha az yüksekliğe sahip A, B ce C blokların bina aralıklarının da gölge analizi sonucunda yeterli olmadığı görülmektedir. Yerleşmede tüm blokların gün içinde benzer şekilde ve yaklaşık aynı saatlerde gölge etkisinde kaldığını söylemek mümkündür (Çizelge 3).

Toplu konut yerleşmelerinin güneş ışınım kazancı açısından değerlendirmesi amacı ile; aynı tip yönlendiriliş durumu ve bina aralıkları nedeniyle farklı performans göstereceği öngörülen temsili binalar seçilmiştir. Bu temsili binalar, A1 ve A2, B1-2 ve B1-3, B2-5 ve B2-6, C1 ve C2, D1-4 ve D1-6, D2-1 ve D1-1 olarak belirlenmiştir (Çizelge 3). Seçilen temsili binaların direkt güneş ışınımı alan cephe alanının toplam cephe alanına oranları hesaplanmıştır (Çizelge 4).

4. SONUÇLAR

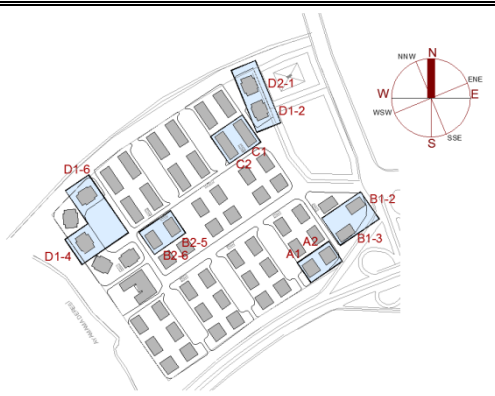
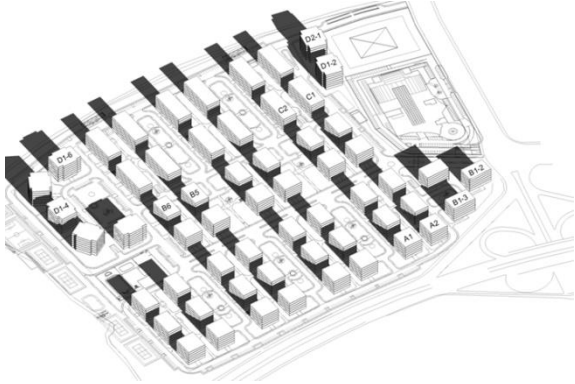
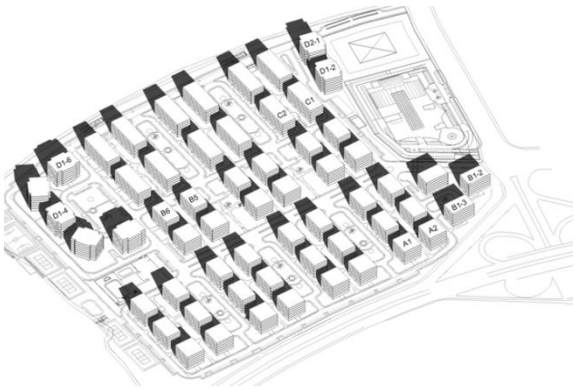
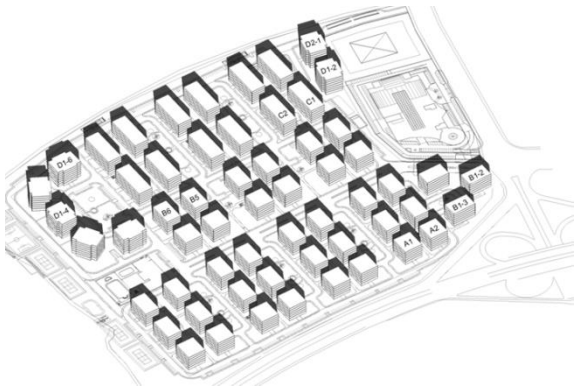
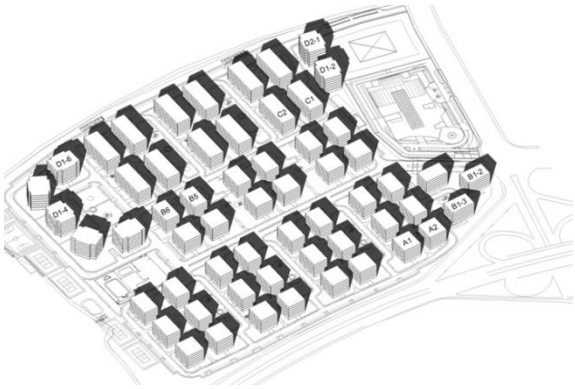
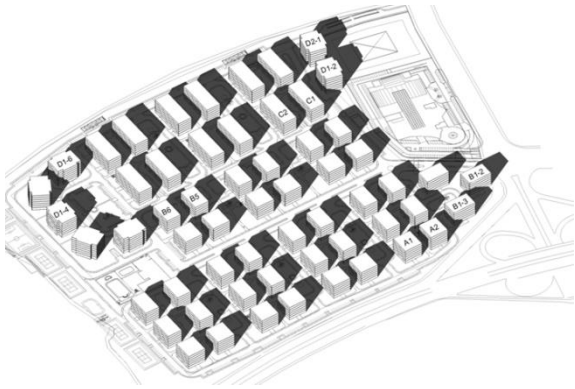
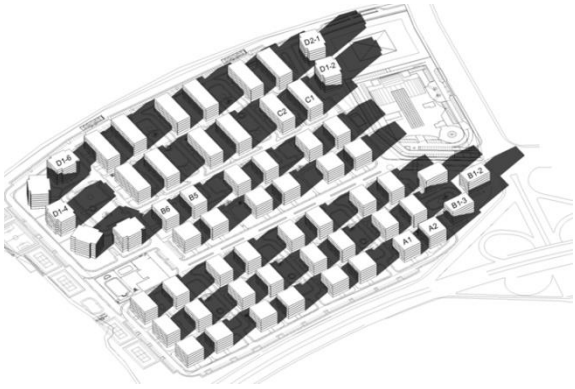
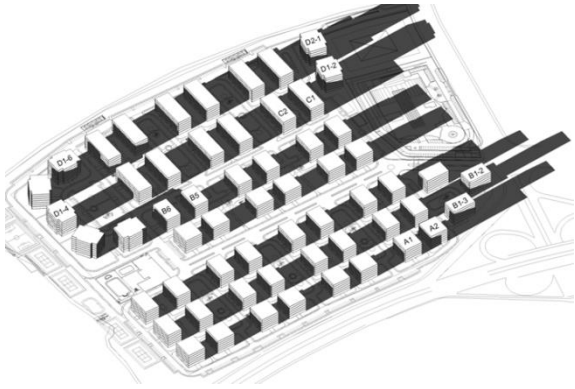
Bu çalışmada toplu konutlarda ısıtma enerjisinin azaltılması amacı ile; enerji etkin tasarım sürecinde, süreci etkileyen pasif değişkenler; bina aralıkları ve yönlendiriliş durumu mevcut iki toplu konut yerleşmesi için karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir.

Elde edilen sonuçları aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür.

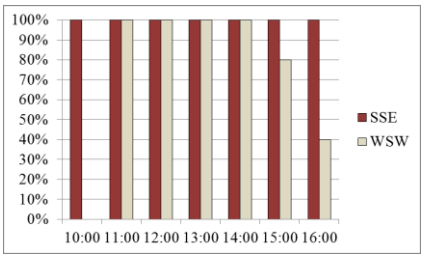
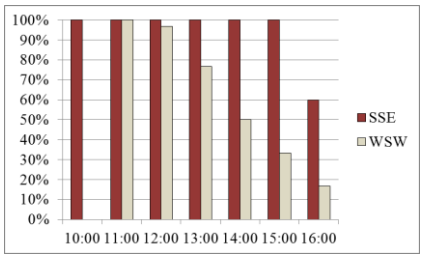
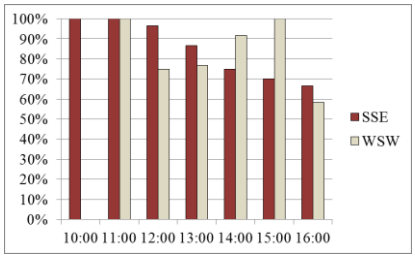
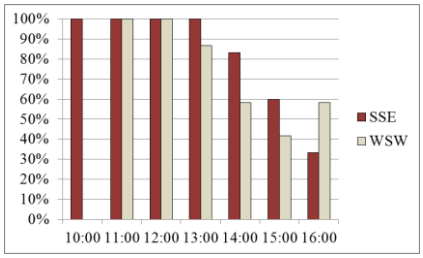
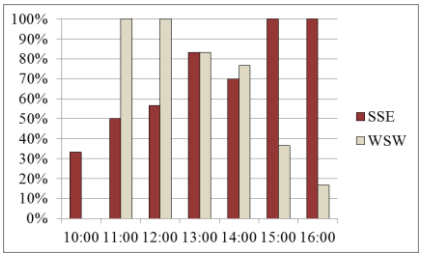
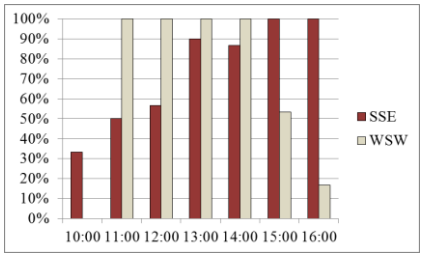
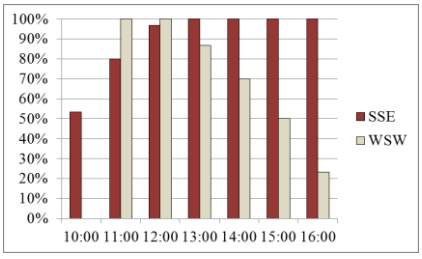
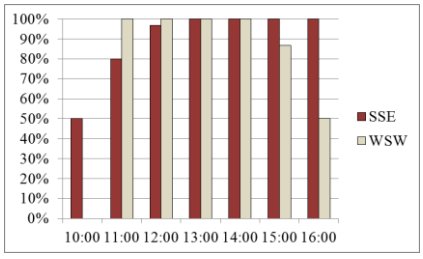
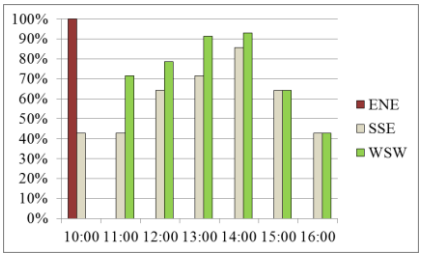
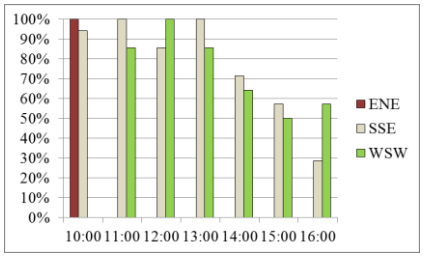
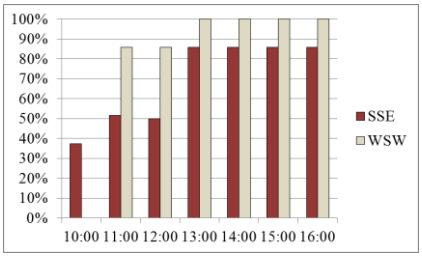
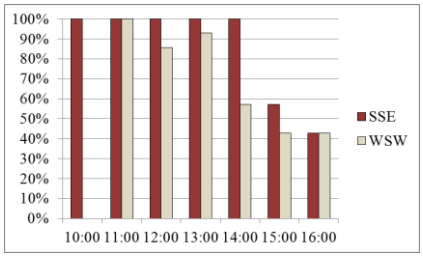
Ataköy 1.Kısım**:** Binaların gölge analizleri yapıldığında bina aralıklarının yeterli olduğu, binaların birbirleri ve kendileri için güneş engeli teşkil etmedikleri saptanmıştır. Yönlendirilişleri nedeniyle binalar günün farklı saatlerinde doğu, güney ve batı cephelerinden direkt güneş ışınımı almaktadır. Yerleşmenin genelinde daireler direkt güneş ışınımı etkisinde kalma saatlerine göre benzer durumdadır. Güneşin enerji kaynağı olarak ışınım etkisinin yanı sıra, psikolojik etkisi de göz önüne alındığında bu durum, psikolojik konfor da sunmaktadır. Yapılan tespitlerden sonra yerleşmenin tasarım sürecinde; bina aralıklarının, yönlendiriliş ve hacim organizasyonu birlikte ele alınarak optimum çözüme gidildiğini söylemek mümkündür.

Ataköy Konakları**:** Binaların gölge analizleri yapıldığında bina aralıklarının yeterli olmadığı ve binaların birbirleri ve kendileri için güneş engeli teşkil ettikleri saptanmıştır. Yönlendirilişleri nedeniyle binalar ENE yönünden günün hiçbir saatinde direkt güneş ışınımı almamaktadır. Farklı yönlere bakan bina cepheleri, güneş ışınımının ısıtıcı etkisinden farklı oranlarda etkilenmekle birlikte genel olarak tüm yerleşmede cephelerin eşit oranda güneş ışınımından faydalanmadıkları gözlemlenmiştir.

Çizelge 3: Ataköy Konakları (VI.Kısım) 21.Ocak Gölge Analizleri

Genel yerleşim ve seçilen bloklar		*Saat 10:00*	
Saat 11:00		*Saat 12:00*	
Saat 13:00		*Saat 14:00*	
Saat 15:00		*Saat 16:00*	

Çizelge 4: Ataköy Konakları (VI.Kısım) Temsili Binaların Direkt Güneş Işınımı Alan Cephe Alanının Toplam Cephe Alanına Oranı

A 1		*A 2*	
B 1-2		*B 1-3*	
B 2-5		*B 2-6*	
C 1		*C 2*	
D 2-1		*D 1-2*	
D 1-4		*D 1-6*	

İncelen iki bölgeden elde edilen verilere göre aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

● Toplu konutun uygulanacağı bölgeye ait ısıtmanın istendiği dönem veya ısıtmanın istenmediği dönem göz önünde bulundurularak iklim verileri tasarım sürecinde girdi olarak ele alınmalıdır.

● Direkt güneş ışınımı kazancı, binanın çevresindeki binalarla konumlandırılış durumuna bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Güneş ışınımından maksimum faydalanmak için öncelikle gölge analizleri yapılmalı, tasarım sürecinde binalar çevrelerindeki binalarla birlikte ele alınmalı, binalar birbirleri için güneş engeli teşkil etmeyecek şekilde tasarlanmalıdır.

●Günümüzde arazi çok değerli olduğu için yerleşmelerin, binaların gün saatlerinde mümkün oduğunca çok güneş ışınımından yararlanmalarından ödün vermeyen yoğunlukta tasarlanması gerekmektedir. Bu nedenle yerleşme tasarımı yapılırken, binaların direkt güneş ışınımı kazançlarının ele alınması önemlidir.

KAYNAKLAR

1. Manioğlu, G., 2002. Isıtma Enerjisi ve Yaşam Dönem Maliyeti Açısından Uygun Bina Kabuğu ve İşletme Biçimi Seçeneğinin Belirlenmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul.

2. Ak, F., 1993. Enerji Etkin Konut ve Yerleşme Birimi Dizaynında Kullanılabilecek Bir Yaklaşım, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

3. Yalçınkaya Çalışkan F., 2011.Toplu Konut Yerleşmelerinin Güneş Işınımı Kazancı Açısından Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

4. Dünden Bugüne İstanbul Ansiklopedisi, Türiye Ekonomik ve Toplumsal Tarih Vakfı, 1993

5. hhtp://www.autodesk.com.tr/products/autodesk-revit-family/overview

6. Özsoy,A., Esin, N.,1998. Toplu Konutlarda Tasarım-Yapım Sistemi-Mekan Kullanımı Etkileşiminin Araştırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, İstanbul.

ENERJİ ETKİN YAKLAŞIMDA BİR MOBİL BİNA TASARIMI

Y. Mimar H. Hilal Parlak Arslan[a]
Öğr. Gör. Dr. Şule Filiz Akşit[b]
İTÜ Mimarlık Fakültesi
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

ÖZET

Mobil konutlar yaşam döngüsü ele alındığında; geleneksel sabit konutlara göre yapım öncesi, yapım, kullanım-işletim ve dönüştürme evreleri boyunca daha az enerji harcamaktadırlar. Konutun yaşam süreci boyunca harcadığı enerji miktarının azaltılması, tüketilen fosil yakıt miktarının azaltılmasında büyük rol oynayacaktır. Bu çalışmanın amacı, mobil konutların, çevreye minimum zarar veren, iklimsel verilere uygun, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan, esnek kullanıma olanak tanıyan, kullanıcının ihtiyacı kadar büyüklükte olan ve istenildiğinde büyüyüp küçülebilen, enerji etkin binalar olarak üretilmesinde tasarımcılara yol gösterecek bir model önerisi geliştirmektir. Bu mobil bina modeli günümüze ait mobil bina örnekleri incelenerek tasarlanan İstanbul'da 4 kişilik, tek katlı enerji etkin bir konuttur. Binanın tasarım süreci genel tasarım kararları, enerjinin, suyun ve malzemenin etkin kullanımı başlıklarıyla ele alınmıştır. Bu süreçte üretilen bina kabuğu alternatifleri Autodesk Ecotect Analysis 2011 programı aracılığıyla simüle edilmiş ve elde edilen verilerle enerji harcamasını azaltan bina kabuğu belirlenmiştir. Bu çalışmayla üretilen enerji etkin mobil bina tasarımıyla, konut üretiminde harcanan enerji miktarını azaltabilmek hedeflenmiştir.

Anahtar sözcükler: Mobil Bina, Enerji Etkinliği, Konut

ABSTRACT

Mobile homes consume less energy before construction, during construction, usage-operation and recycling stages in terms of the lifecycle compared to the traditional stable homes. The reduction of the energy consumption of the home during its life is going to play an important role in the decrease of the fossil fuel consumption amount. The purpose of this study is to develop a model to guide designers in terms of designing mobil homes as the production of energy efficient buildings which have minimum harm to environment, are suitable to climatic data, are using renewable energy sources and are flexible for user needs to grow or decrease size. This mobile building suggestion is a single storey energy efficient house in İstanbul for 4 people which is developed by examining modern mobile building examples. Building's design process was examined in detail with the general design decisions, effective usage of energy, water and material titles. The building envelope alternatives created during this process was analysed in Autodesk Ecotect Analysis 2011 software and according to the data obtained from simulation program, final building envelope which decreases the energy consumtion has been identified. Decreasing the energy used in housing production was aimed with the energy effective mobile building design in the this study.

Key words: Mobile Building, Energy Efficiency, Dwelling

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

1.GİRİŞ

Dünya nüfusunun artması ve sanayinin gelişmesiyle oluşan konut üretimindeki hızlı artış, yüksek enerji tüketimini de beraberinde getirmiştir. Konut açığının kapanması için yapılan müdahalelerde enerji korunumunun dikkate alınması, enerji problemleri açısından büyük önem taşımaktadır.
Konutta enerji etkinliğinin sağlanmasında uzun bir süreç söz konusudur. Mobil binalar yapım öncesi, yapım, işletim ve dönüştürme evreleri ele alındığında sabit binalardan daha az enerji harcamaktadır. Son birkaç yıldır sürdürülen testler, taşınabilir binaların geleneksel sabit binalardan ortalama %67 daha enerji etkin olduğunu göstermiştir [**1**]. Mobil binaların tüm malzeme ve sistemleri fabrikalarda ön üretimli olarak hazırlanıp kurulacağı araziye getirildiği için yapım öncesi harcanan enerjiden tasarruf edilmektedir. Taşınabilir boyutlarda modüller haline getirilip araçlara yüklendiğinden daha az taşıma enerjisi harcanmaktadır. Taşınabilir binalar kullanıcının ihtiyaçları değiştiğinde, yeni birimlerin eklenmesi veya çıkarılması ile ihtiyaçlara cevap verebildiğinden, yeni bina üretimi için harcanacak enerjiyi engellenmektedir. Yok edilmesi istendiğinde de kolayca söküldüğünden dönüştürme aşamasında da enerji tasarrufu sağlamaktadır. Bu çalışma kapsamında ise mobil binaların işletim evresinde enerji etkinliği açısından değerlendirilmesi ele alınmıştır.

2. ENERJİ ETKİN YAKLAŞIMDA BİR MOBİL BİNA TASARIMI

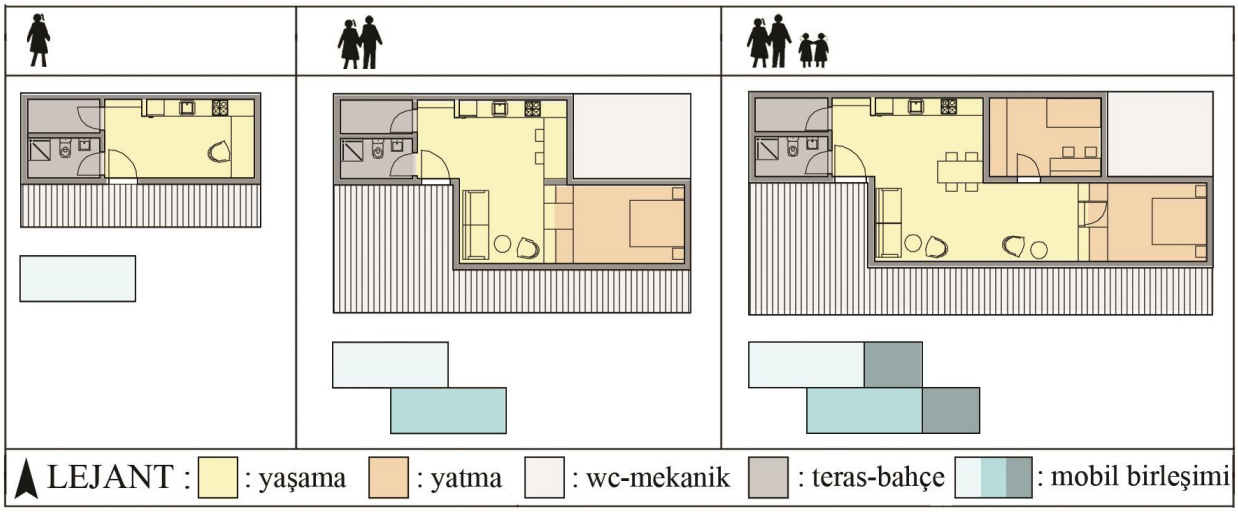
Mobil binaların enerji etkinliği açısından değerlendirilmesinde, öncelikle mobil bina tasarımı yapılmış, sonra ise tasarımı yapılan mobil bina simülasyon programı yardımıyla enerji etkinliği açısından değerlendirilmiştir [**2**].

2.1. Tasarım Süreci

Tasarım süreci, genel tasarım kararları, enerjinin, suyun ve malzemenin etkin kullanımı olmak üzere 4 aşamadan oluşmaktadır.

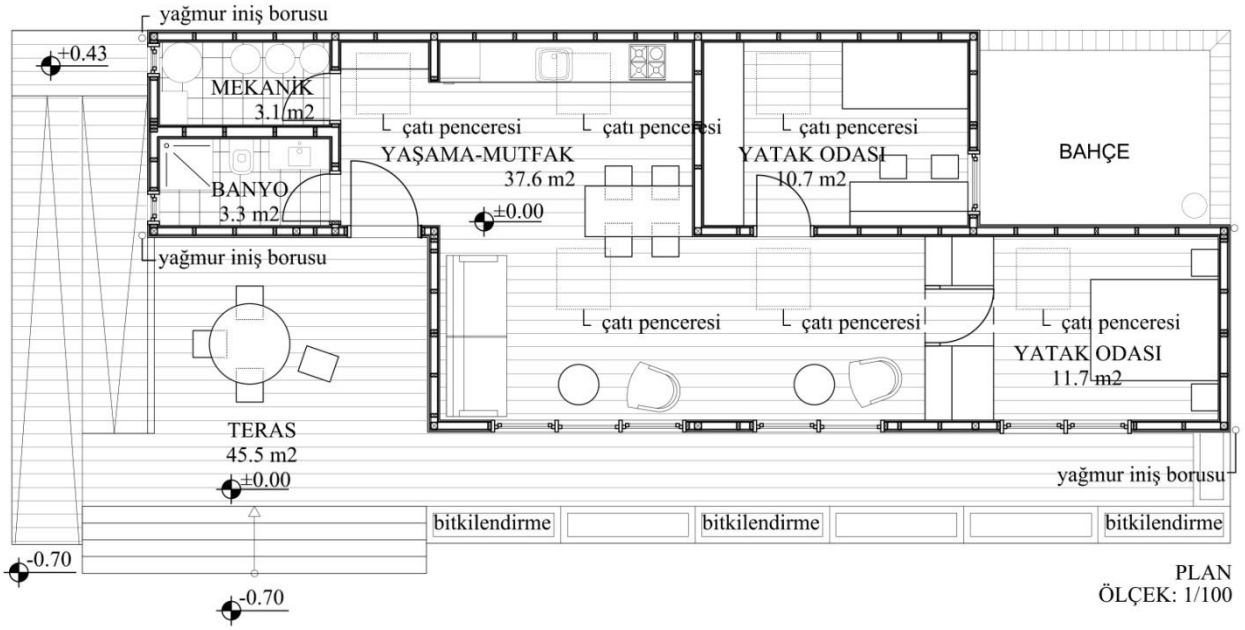
- **Genel Tasarım Kararları**

Tasarım sürecinin ilk aşaması binaya ilişkin genel tasarım kararlarının alınmasıdır. Bu aşamada binanın yer aldığı iklim bölgesi, fonksiyonu, kullanıcı sayısı gibi değişkenler belirlenmiştir.
Bina Türkiye' de ılımlı nemli iklim bölgesinde yer alan İstanbul' da tek kişilik mobil konut olarak geliştirilmiştir.
Binalar mobil olarak tasarlandığında kullanıcı sayısı değiştiğinde binanın da değişimine olanak sağladığından ilk aşamada konut tek kişilik tasarlanmıştır. Sonra, mobil birimler 1, 2 ve 4 kişilik olacak şekilde üretilebilecek şekilde düzenlenmiştir. Bu çalışma kapsamında; mobil binanın 4 kişilik alınacağı düşünülerek, kullanıcı olarak iki ebeveyn ve iki çocuktan oluşan dört kişilik bir aile ele alınmıştır (**Şekil 1**).



Şekil 1 : Mobil bina 1-2 ve 4 kişilik kullanım diyagramı

Alanı 73.5 m^2 olan mobil bina, yaşama alanı, mutfak, çocuk yatak odası, ebeveyn yatak odası, mekanik ve banyo hacimlerinden oluşmaktadır (**Şekil 2**). Plandan da görüldüğü gibi, güney cephesinde yer alan terastan binaya girilmektedir. Banyo ve mekanik odasına geçiş, antreden sağlanmaktadır. Yaşama alanı ve mutfak beraber kullanılmaktadır. Oturma ve çalışma bölümlerinden oluşan yaşama alanından yatak odalarına geçilmektedir.



Şekil 2 : Mobil bina plan

- **Enerjinin Etkin Kullanımı Açısından Tasarım Süreci**

Enerjinin etkin kullanımını sağlamak için uygulanabilecek yöntemler pasif ve aktif sistemler olarak tanımlanmaktadır ve tasarlanan konut bu sistemler üzerinden değerlendirilmiştir. Binada ele alınan pasif sistemler, binanın yönlendiriliş durumu, hacim organizasyonu, bina formu, bina kabuğu, doğal vantilasyon, doğal aydınlatma şeklinde, aktif sistemler ise enerji tasarruflu aletlerin ve akıllı bina otomasyon sistemlerinin kullanımı şeklinde sıralanmaktadır.
Bina, güneşten maksimum yararlanmak için doğu-batı aksında yerleştirilerek, uzun cephesi güneye bakacak şekilde yönlendirilmiştir. Yaşama alanı ve ebeveyn yatak odası güneye, çocuk yatak odası ise doğuya bakmaktadır. Mutfak, açık mutfak şeklinde tasarlandığından yaşama alanının devamı niteliğinde olup güney yönünden gelen direkt güneş ışınımdan yararlanmaktadır. Banyo ve mekanik oda, batı yönüne yerleştirilmiştir. Kuzey cephesinde tampon bölge oluşturularak ısı kaybı önlenmiştir. Bina formu, ılımlı nemli iklim özellikleri göz önüne alınarak girintili çıkıntılı şekilde oluşturulmuştur.
Bina, mobil bina olması sebebiyle hareketi kolaylaştırmak, malzeme tasarrufu sağlamak gibi sebeplerle minimum boyutlara göre tasarlanmıştır.
Bina kabuğu olarak dış duvarlar, tavan, taban ve pencereler ele alınmıştır. Bina kabuğu TS825' te İstanbul için önerilen U değerleri dikkate alınarak oluşturulmuştur ve duvar için U_D=0.52 W/m^{2}K, taban için U_t=0.56 W/m^{2}K, tavan için U_T=0.37 W/m^{2}K, pencere için ise U_P= 2.4 W/m^{2}K alınmıştır [**3**].
Binanın çatısı, mobil binanın 1, 2 ya da 4 kişilik olacağı durumlar göz önünde bulundurularak her modül için stardartlaştırılmıştır. Saydamlık oranları, farklı yönlere bakan cephelerde direkt güneş ışınımı kazancı dikkate alınarak farklı oranlarda oluşturulmuştur. Binanın batı cephesinde saydamlık oranı %7, güney cephesinde %56, doğu cephesinde %12, kuzey cephesinde ise %0' dır. Binada etkin bir hava dolaşımı sağlamak için her hacimde bulunan pencerelerden alınan hava, hacimlerde dolaşıp, çatı pencerelerinden dışarı atılmaktadır. Binada, görsel konfor gereksinimlerinden ödün vermeksizin gün ışığını en iyi almaya yönelik şekilde tasarlanan pencereler ve çatıdaki ışıklıklar, doğal aydınlatmaya yardımcı olmakta ve elektrik enerjisi tüketimini azaltmaktadır.
Binalarda enerji açısından işletim maliyetini azaltmak için enerji tasarruflu aletler kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında bu binada enerji tasarruflu kompakt florasan, indüksiyon ocak, ankastre fırın, buzdolabı, bulaşık makinesi ve çamaşır makinesi kullanılmıştır. Ayrıca, akıllı bina otomasyon sisteminin kullanılması ile ısıtma, soğutma, aydınlatma, elektrik kullanım bilgilerinin edinilmesinde kolaylık sağlandığı için enerji tüketiminin azaltılması hedeflenmiştir.

- **Suyun Etkin Kullanımı Açısından Tasarım Süreci**

Suyun etkin kullanımı açısından tasarım sürecinde yağmur suyu toplama, geri dönüşüm ve yeniden kullanma, peyzaj uygulamaları ve su tasarruflu aletlerin kullanımı incelenmiştir.
Binada yağmur suyu çatı yüzeyinde toplanarak oluklara, oluklardan da yağmur suyu indirme borularıyla depoya aktarılmaktadır. Bina dışındaki depoda biriktirilen yağmur suyu araba yıkama ve bahçe sulama gibi işlerde kullanılmaktadır. Bahçenin her gün sulanacağı, aracın ise haftada bir yıkanacağı varsayılarak ihtiyaç olunan suyun yıllık miktarı belirlenerek (3285 lt) bahçede konumlandırılan 50 lt' lik depoda biriktirilmektedir.
Binada banyo lavabosu ve duştan alınan gri su arıtılarak, tuvalet rezervuarı ve çamaşır makinesinde kullanılmaktadır. Konutta 4 kişilik su kullanım miktarı hesaplanmıştır. Banyo lavabosu ve duştan gelen günlük su kullanım miktarının %40'ını oluşturmaktadır. WC rezervuarı

ve çamaşır makinesi günlük su ihtiyacının %38' ini oluşturmaktadır [**4**]. Bu miktarda suyu arıtabilmek için mekanik odada gri su arıtma sistemi kurulmuştur [**5**].
Peyzaj uygulamalarında, ılımlı nemli iklimde rahatlıkla yetişebilecek, küçük yapraklı olduğu için su kaybedecek gözenekleri az olup, fazla su istemeyecek bitkiler tercih edilmiştir. Terasa yerleştirilen saksılarda küçük sebze bahçesine ek olarak yenilebilir bitki yetiştirilmektedir.
Binada lavabo, eviye ve duş bataryalarında perlatör, harekete duyarlı armatürler ve çift akışlı tuvalet kullanılmıştır. Ayrıca kullanılan ekipmanlardan çamaşır ve bulaşık makineleri, su tasarruflu ürünlerden seçilmiştir.

- **Malzemenin Etkin Kullanımı Açısından Tasarım Süreci**

Malzemenin etkin kullanımı açısından tasarım sürecinde yapılan uygulamalar malzeme tasarrufu sağlayan tasarım ve yapım, mevcut binaların yeniden kullanımı, geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımı, yerel malzemelerin kullanımı açısından değerlendirilmiştir.
Binadaki alanların belirlenmesinde İstanbul İmar Yönetmeliği'ndeki minimum hacim ölçüleri etkili olmuştur. Minimum alanlarda akılcı çözümler getirilerek binalar, çok alana ihtiyaç duyulmadan kullanıcının ihtiyaçlarına çözümler üretebilmelidir.
Mobil binanın ön üretimli olup sahaya getirilerek sadece montajının yapılıyor olması, yapım tekniği açısından şantiyedeki hata payını en aza indirip, malzeme tasarrufu sağlamaktadır.
Bina eskidiğinde yerinden taşınılarak yıkım enerjisini ortadan kaldırmış olur. Ayrıca binanın modüler yapısı sayesinde bina kullanılmadığında parçaları sökülerek başka binalarda kullanılabilir. Böylece binanın atığı diğer bina için hammaddeyi oluşturmuş olur. Tasarlanan binanın genel malzemesi olarak kullanılan ahşap geri dönüştürülebilir bir malzeme olduğundan, geri dönüşüm sürecinde atık sürecinden geçmeyecektir.
Yerel veya yakın çevreden toplanan, işlenen, hazırlanan ve dağıtılan, yerel malzemelerin kullanımı, taşıma için gereken enerji tüketimini ve maliyeti de büyük oranda azaltmaktadır.

2.2. Değerlendirme Süreci

Değerlendirme sürecinde, tasarım sürecinde alınan kararların binanın ısıtma ve soğutma yüklerine etkisi incelenerek, mobil binanın enerji etkinliği Autodesk Ecotect Analysis 2011 programı ile analiz edilmiştir **[6]**. Değerlendirme yapılırken mobil binanın modellenmesi ve enerji yüklerinin hesaplanması, enerji harcamalarının azaltılmasına yönelik iyileştirme alternatiflerinin belirlenmesi, ısıtma ve soğutma yüklerinin hesaplanması ve mobil bina iyileştirme alternatiflerinin ısıtma ve soğutma yükleri açısından karşılaştırılması yapılmıştır.

- **Mobil binanın modellenmesi**

Mobil binanın modellenmesi için; bölgeye ve iklime ait verilerin girilmesi, zonların ve modelin oluşturulması, aydınlatma ve ekipmanların girilmesi, bina kabuğunun oluşturulması gerekmektedir. Programa, öncelikle projenin yapılacağı İstanbul'un koordinatları ve iklim verileri girilmiş, Ecotect programı ile simülasyonun gerçekleştirilebilmesi için projenin 3 boyutlu modeli oluşturulmuştur. Tüm hacimler aynı özelliklerde iklimlendirildiğinden tek zon olarak ele alınmıştır. Binanın ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyaçları, ısıtmanın istendiği dönemde tüm hacimlerin 19ºC' ye ısıtılacağı ve ısıtmanın istenmediği dönemde ise tüm hacimlerin 26ºC' ye soğutulacağı varsayılarak hesaplanmıştır **[7]**.

Programda giysilerin yalıtım direnci 0.60 clo, bağıl nem %60, sızdırmazlık değeri 0,50 m/s alınmıştır. Konut için genel aydınlık düzeyi 200 lux olarak belirlenip 4 kişinin yaşadığı bilgileri girilmiştir. Evin tasarım senaryosu biri çalışan diğeri çalışmayan bir çifte göre oluşturulmuştur.
Binanın güneşten olan ısı kazançlarının yanı sıra, insanlardan, aydınlatma elemanlarından ve elektrikli aletlerden olan ısı kazançları da hesaba katılmıştır. Aydınlatma elemanları seçilirken hem kullandığı elektrik enerjisi, hem de ısıtma ve soğutma yükleri üzerindeki etkisi göz önünde bulundurulmuştur. Buna göre, binada 9 adet 18W' lık kompakt florasan lamba kullanılmıştır.

- **Mobil binanın ısıtma ve soğutma yüklerinin hesaplanması**

Bina kabuğu, TS825 standardına uygun olarak oluşturulan mobil binanın yıllık ısıtma ve soğutma yükleri, Autodesk Ecotect Analysis 2011 simülasyon programı ile hesaplanmıştır. Sonuçlar **Çizelge 1**'de görülmektedir.

Çizelge 1 : Mobil bina (TS825) ısıtma ve soğutma yükleri

MOBİL BİNA / Yıllık Isıtma ve Soğutma Yükleri			
	Isıtma (Wh)	**Soğutma (Wh)**	**Toplam (Wh)**
Yıllık Toplam	6742182	3073679	9815860

- **Isıtma ve soğutma yüklerinin azaltılmasına yönelik iyileştirme alternatiflerinin belirlenmesi**

TS825'e uygun mobil binaya ait sonuçlar alındıktan sonra ısıtma ve soğutma yüklerinin azaltılmasına yönelik bina kabuğu iyileştirme alternatifleri belirlenmiştir. Alternatifler (**Çizelge 2**):

- Alternatif 1: Mobil binaya güneş kontrol elemanları eklenerek oluşturulmuştur.
- Alternatif 2: Mobil binanın duvar, tavan ve taban U değerleri düşürülerek oluşturulmuştur.
- Alternatif 3: Mobil binanın pencere U değeri düşürülerek oluşturulmuştur.
- Alternatif 4: Mobil binaya güneş kontrol elemanı eklenip, duvar, tavan, taban ve pencere U değeri düşürülerek oluşturulmuştur.

Çizelge 2 : İyileştirme alternatifleri

	UD (W/m2K)	**UT (W/m2K)**	**Ut (W/m2K)**	**UP (W/m2K)**	**Güneş Kontrolü**
Mobil Bina	0.52	0.37	0.56	2.4.	-
Alternatif 1	0.52	0.37	0.56	2.4.	√
Alternatif 2	0.2	0.21	0.19	2.4.	-
Alternatif 3	0.52	0.37	0.56	1.8.	-
Alternatif 4	0.2	0.21	0.19	1.8.	√

- **Mobil bina için önerilen iyileştirme alternatiflerine ait ısıtma ve soğutma yüklerinin hesaplanması**

Önerilen iyileştirme alternatiflerine ait yıllık ısıtma ve soğutma yükleri Autodesk Ecotect Analysis 2011 simülasyon programıyla hesaplanmıştır. Hesap sonuçları **Çizelge 3**' de görülmektedir.

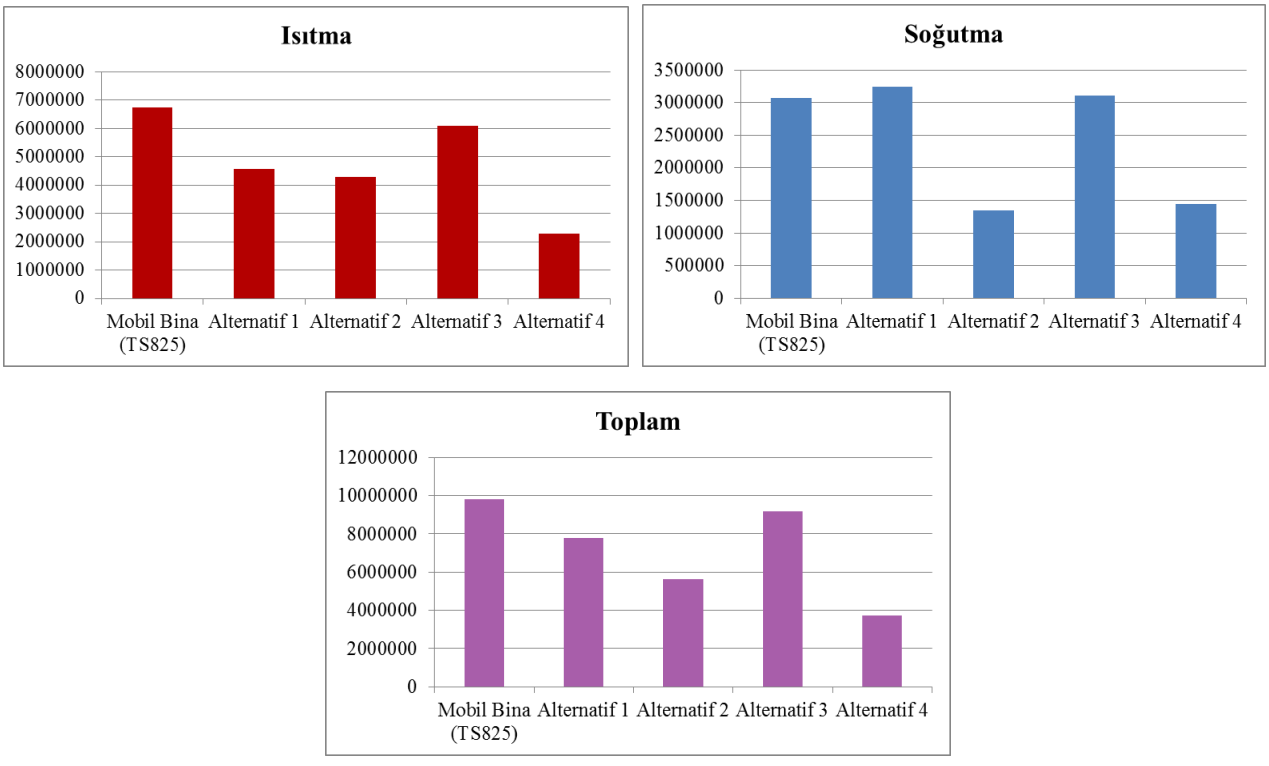
Çizelge 3 : İyileştirme alternatiflerine ait ısıtma ve soğutma yükleri

ALTERNATİFLER / Yıllık Isıtma ve Soğutma Yükleri			
	Isıtma (Wh)	**Soğutma (Wh)**	**Toplam (Wh)**
Alternatif 1	4558945	3248387	7807332
Alternatif 2	4291948	1351852	5643800
Alternatif 3	6081141	3107184	9188324
Alternatif 4	2295950	1447863	3743814

- **Mobil bina ve iyileştirme alternatiflerinin ısıtma ve soğutma yükleri açısından karşılaştırılması**

Mobil bina iyileştirme alternatiflerinin ısıtma ve soğutma yükleri açısından karşılaştırıldığında alternatif 1, 2, 3 ve 4' e ait ısıtma ve soğutma yüklerinin TS825 standartına göre yapılan mobil binaya göre azaldığı görülmektedir (**Çizelge 4**).

Çizelge 4 : Alternatiflerin ısıtma ve soğutma yükleri açısından karşılaştırılması



Çizelge 4' teki sonuçlar değerlendirildiğinde binanın en az ısıtma ve soğutma yükü alternatif 4' e ait bina kabuğu kullanıldığında elde edilmektedir. TS825' e uygun mobil binaya gore toplam ısıtma ve soğutma yükleri açısından alternatif 1' de %21, alternatif 2' de %43, alternatif 3' te %5, alternatif 4' te %77 oranında azalma sağlanmıştır.

3. SONUÇLAR

Binaların, üretim ve kullanım sürecinde enerji tüketim miktarının; dünyada tüketilen toplam enerjinin büyük bir bölümünü kapsaması sebebiyle inşaat sektöründe enerji etkinliği üzerine uygulanacak stratejiler önem kazanmıştır. Bu nedenle, konut açığını kapamak üzere yapılan müdahalelerde enerji korunumu üzerinde durulması, enerji problemleri açısından büyük rol oynamaktadır.

Konut açığını kapamak üzere yapılan müdahaleler arasında, bu açığa cevap verebilmek için kısa sürede elde edilebilmeye, kullanıcının ihtiyaçları doğrultusunda geliştirilmeye olanak tanıyan mobil binaların üretimi önem taşımaktadır.

Bu çalışmada ele alınan mobil bina, enerji etkin bina tasarım değişkenleri göz önüne alınarak, İstanbul' da 4 kişilik bir konut olarak tasarlanmıştır. TS825' e göre tasarlanan mobil binada önemli miktarda enerji tüketimine sebep olan ısıtma ve soğutma yüklerinin azaltılabilmesi için farklı alternatifler denenmiştir. Çalışmada Autodesk Ecotect Analysis 2011 simülasyon programı kullanılarak, her alternatifin yıllık ısıtma ve soğutma yükleri hesaplanmış ve en az ısıtma ve soğutma yükünü sağlayan alternatif belirlenmiştir.

Mobil binaların seri üretilebilmesi nedeniyle tasarım aşamasında alınacak kararlar birçok bina ve kullanıcıyı etkilemektedir. Bu sebeple enerji etkin üretilmeleri ve yönetmeliklerde enerji etkin mobil bina uygulamalarının desteklenmesinin sağlanması gerekmektedir.

Bundan sonraki çalışmalarda mobil binalar, konut dışında farklı fonksiyonlara cevap verecek, ılımlı nemli iklim bölgesinde yer alan İstanbul dışında diğer iklim bölgelerine ve şehirlere uygun olacak ve farklı yerleşim dokusunda yer alacak şekilde tasarlanarak analiz edilebilir.

KAYNAKLAR

1. Url-1 <http://sustainablecitiescollective.com/>, alındığı tarih: 12.04.2013.

2. Parlak, H. H., 2013. Mobil Binaların Enerji Etkinliği Açısından Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü , İstanbul.

3. TS825, 1998. Binalarda ısı yalıtım kuralları, *Türk Standartları*, Ankara.

4. Url-2 <www.aktifcevre.com.tr>, alındığı tarih: 28.04.2013.

5. Aktech, 2013. Kişisel görüşme.

6. Autodesk Ecotect Analysis 2011 Simülasyon Programı, CIBSE Guide.

7. Akşit, Ş.F., Ocak 2002. Soğutma Enerjisi Korunumunu Hedefleyen Cephe Dokusunun Belirlenmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

BİNALARDA CO_2 SALIM MİKTARLARININ AZALTILMASI AMACIYLA BİR TOPLU KONUT ÖRNEĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Y.Mimar Özge Kundakçı[a]
Y.Doç.Dr. Gülten Manioğlu[b]
İTÜ Mimarlık Fakültesi
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

ÖZET

Bu çalışma var olan bir toplu konut yerleşimindeki CO_2 gazı salım miktarlarının azaltılması amacıyla yapılan iyileştirme önerilerinin değerlendirmesini içermektedir. Çalışmada İstanbul'da TS 825 ısı korunum yönetmetliğinin geçerli olduğu tarihten önce inşaa edilen ve bina kabuk performansı yetersiz olan Ataköy 5. kısım yerleşiminde yer alan B, C ve D tipi apartman blokları çeşitli iyileştirme önerileri ile standartlara uygun hale getirilmiştir.
Çalışmada bina kabuğunun opak ve saydam kısımlarında iyileşirme önerileri geliştirilmiştir. Bu öneriler sonucu apartman bloklarından atmosfere salınan CO_2 gazı miktarındaki değişiklikler değerlendirilmiştir.

Anahtar sözcükler: CO_2 Gazı Salımı, Bina Kabuk Performansı, Toplu Konut

ABSTRACT

This study aimes to reduce CO_2 oscillation amount in a current mass housing settlement. Within the scope of this study; for the B, C and D types buildings in Ataköy section 5 which have been constructed before TS 825 (thermal insulation regulations), new improvements for the building envelope have been suggested. In this study, suggestions which are developed for opaque and transparent components of building envelope are improved according to regulation. Variation in CO_2 oscillation amount according to different suggestions has been evaluated.

Key words: CO_2 Oscillation, Building Envelope Performance, Mass Housing

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

1. GİRİŞ

Son yıllarda artan enerji talebi ve enerji kullanımı nedeni ile mevcut tükenebilir enerji kaynakları hızla azalmaktadır. Bu enerji kaynaklarının kullanımı sonucu oluşan gazlar atmosferde birikerek sera etkisine neden olmakta, bunun sonucunda atmosferin güneş ışınımı yutuculuğu artmakta ve yeryüzünde meydana gelen sıcaklıklar mevsim normallerinin üzerine çıkmaktadır. Bu sıcaklık artışları sonucu oluşan iklim değişiklikleri dünya üzerinde yaşayan her canlıyı etkilemektedir. Bu nedenle mevcut enerjinin verimli kullanılması ve bunun sonucunda oluşan CO_2 gazının salım miktarının azaltılması bir gereklilik haline gelmiştir.
Türkiye'de, binalarda kullanıcılara ait konfor koşullarını sağlamak amacı ile harcanan enerji miktarı oldukça yüksek seviyededir. Bu nedenle mevcut binalarda enerji verimliliğini arttırmak, harcanan enerjilerin miktarının azaltılması bakımından önem kazanmaktadır.
Türkiye'de hızla artan nüfusun barınma ihtiyacını karşılayabilmek adına inşaa edilmiş birçok toplu konut yerleşimi bulunmaktadır. Bu mevcut yerleşimlerin bir kısmı TS 825 ısı korunum yönetmeliğinden önce inşaa edilmiş olup, bina kabuğuna ilişkin beklenen performansı gösterememektedirler. Bu nedenle toplu konut binalarında enerji kayıpları ve dolayısıyla CO_2 salım miktarları yüksek seviyede olmaktadır.
Bu çalışmada, bir toplu konut yerleşmesindeki binalara ait bina kabuğunun saydam ve opak bileşenini oluşturan malzemeler bilgi toplama ve termal kamera gibi görüntüleme teknikleriyle belirlenmiştir. Toplu konut yerleşmesinde modellemeler yardımıyla CO_2 salım miktarları hesaplanmıştır. Daha sonra mevcut bina kabuğu için iyileştirme önerileri geliştirilerek, binaların CO_2 salım miktarındaki değişiklikler değerlendirilmiştir.

2. SERA ETKİSİ VE CO_2 SALIMI

Güneşten gelen ışınımın yaklaşık %31'i atmosferin üst tabakasından yansıyarak uzaya geri döner. Kalanı ise ışınım ile atmosferden geçerek dünyayı ısıtmaktadır. Bu yansıyan ışınlar başta karbondioksit, metan ve su buharı olmak üzere atmosferde bulunan gazlar tarafından tutulur ve bu gazlar yeryüzünün ısı kaybına engel olurlar. Bu şekilde oluşan, atmosferin ısıtma ve yalıtma etkisine sera etkisi denir **[1].**
Günümüzde kullanılan fosil kaynaklı yakıt tüketiminin artması sonucu atmosfere salınan CO_2 gazı miktarı artmakta buna bağlı olarak da sera etkisi giderek yaygınlaşmaktadır. Toplam sera gazı salımında CO_2 gazının dörtte üçlük bir payı vardır ve enerji sektörünün insan kaynaklı sera gazı salımındaki payı, %60 enerji kaynaklı CO_2, %5 enerji kaynaklı metan olmak üzere yaklaşık üçte ikidir. Metan ise toplam sera gazı salımında altıda birlik bir payla ikinci sıradadır [**2**].
Atmosferdeki karbondioksit miktarının her yıl arttığı düşünüldüğünde, yeryüzündeki ortalama sıcaklıkta derece derece gerçekleşecek bir artış beklentisi ortaya çıkmaktadır. Bu durum, buzulların erimesi ve okyanusların yükselmesi gibi ciddi sonuçlar doğurarak sıcaklıkların artmasıyla da kuraklık ve iklim değişikliği başlangıçlarına yol açmaktadır.

2.1. Türkiye'de İklim Değişikliği ve Sera Gazı Salımı

Küresel iklim değişikliğinden Türkiye ve gelişmekte olan ülkelerin, olumsuz bir şekilde etkilenmesi beklenmektedir. Bu olumsuzlukların ülkemizin de içinde bulunduğu enlemlerde; sıcaklıklarda artışlar, yağış rejiminde değişimler, deniz suyu seviyesi yükselmesi ve toprak su içeriğinde önemli azalmalar şeklinde olacağı tahmin edilmektedir. Bütün bunların sonucunda,

kuraklık (kıtlık, orman yangını, sıcak hava dalgaları, tarımsal haşereler), ani seller (şiddetli yağmur ve yıldırımlar) ve deniz suyu seviyesi yükselmeleri (kıyılarda erozyon, dere ve nehirler ile birlikte yeraltı sularının ve alçak arazinin tuzlanması) gibi önemli problemlerin etkilerini gelecekte daha fazla hissedileceği tahmin edilmektedir [**3**].
Dünyada atmosfere salınan CO_2 gazı salım miktarını azaltmak için çeşitli enerji politikaları izlenmektedir. Türkiye'de binalarda enerjinin verimli kullanılmasına yönelik TS 825 'Isı Korunum Yönetmeliği' ilk olarak 1985 yılında yayınlanmıştır. Mevcut konutların büyük bir kısmı bu yönetmelikten önce yapılmıştır. 2011'de yürürlüğe giren binalarda enerji performans yönetmeliğince, TS 825 Isı Korunum Yönetmeliği sadece yeni yapılan yapılarda değil, mevcut yapılarda da uygulanacaktır. Mevcut yapı stoğu 2017 yılına kadar enerji etkinlik açısından değerlendirilecek ve gerekli iyileştirmeler yapılacaktır. Bu nedenle mevcut yapı stoğunda iyileştirme çalışmaları yapmak, enerjiyi daha etkin şekilde kullanmak ve CO_2 salımını azaltmak bir zorunluluk haline gelmiştir.

3. TOPLU KONUT YERLEŞMELERİNİN BİNA KABUK PERFORMANSLARININ CO_2 SALIM MİKTARLARI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ: ATAKÖY ÖRNEĞİ

Bu çalışmada; binalarda CO_2 salım miktarlarının azaltılması amacıyla bir toplu konut yerleşmesi seçilerek değerlendirilmiştir **[4].** Çalışmada örnek yerleşme olarak İstanbul'da bulunan Ataköy 5. kısım toplu konut yerleşmesi ele alınmaktadır. 1980'li yıllarda inşa edilmiş olan bu yerleşmede 5 farklı blok tipi ve 46 konut binası mevcuttur.

Bu çalışmada B,C ve D blokları olmak üzere 3 farklı blok tipi ve 28 konut binası incelenmiştir.
Ataköy 5. kısım toplu konut yerleşmesinde yapılan çalışmanın adımları aşağıdaki gibidir.

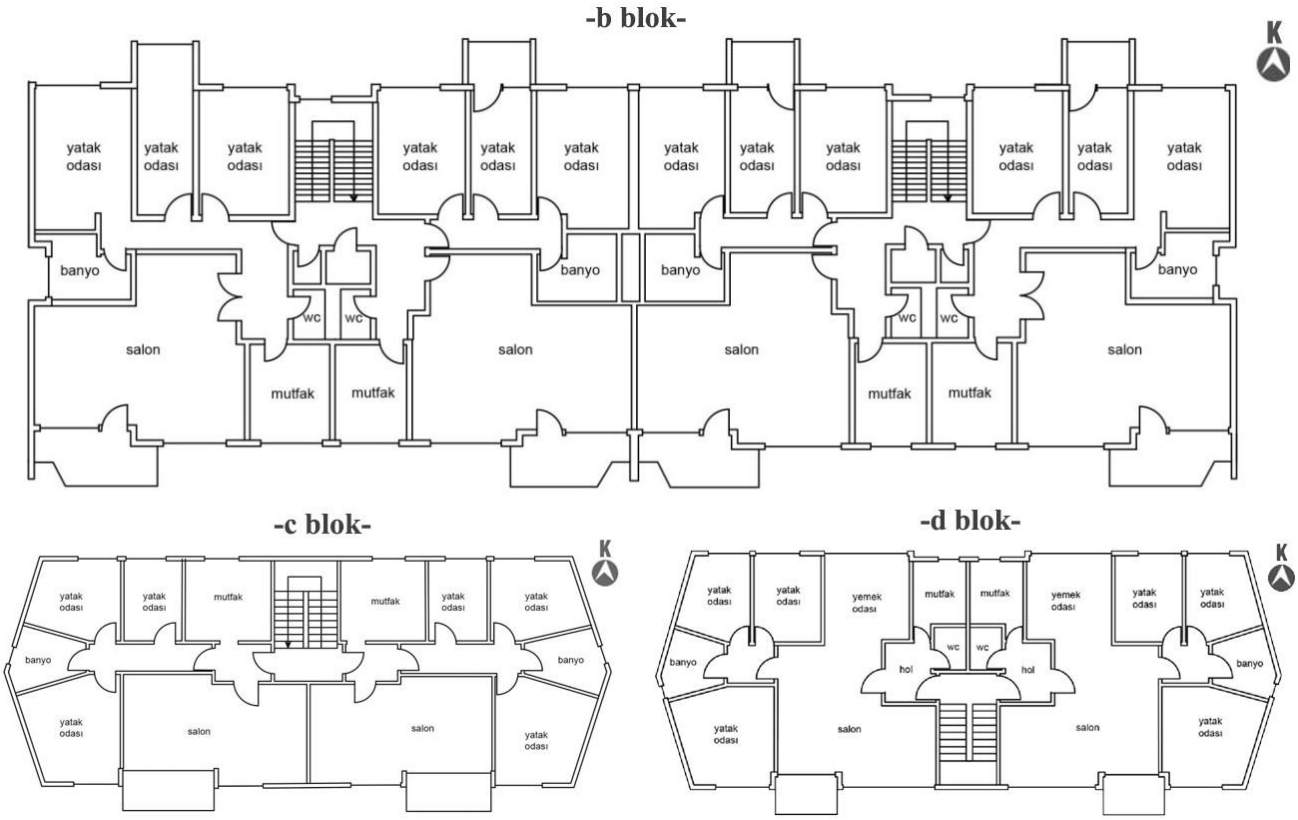
- Uygulamada seçilmiş olan Ataköy 5. kısım yerleşmesi Marmara denizi sahil şeridi üzerinde, eğimli olmayan düz bir arazidedir (**Şekil 1a**). Ataköy 5. kısım toplu konut yerleşmesinde blokların birbirlerine göre olan konumları **Şekil 1b**'de uydu fotoğrafından görülmektedir. Yükseklik bakımından en uzun olan A blokları ve E2 blokları yerleşmenin güneyine konumlandırılmıştır. Bu blokların kuzeyinde C blokları, C blokların kuzeyinde de D ve B blokları yer almaktadır.



1a 1b

Şekil 1: Ataköy 5. Kısım Uydu Görüntüsü ve Yerleşim Planı

- B, C ve D tipi apartman bloklarına ait kat planları ve bina yönlendirilişleri sırasıyla **Şekil 2**'de verilmiştir.



Şekil 2: B, C ve D blok kat planları

- Uygulamada seçilen binaların bina kabuklarını oluşturan malzemelere ilişkin termofiziksel özellikler **Çizelge 1**'de gösterilmektedir.

Çizelge 1: B,C ve D bloklarına ait bina kabuğu detayları

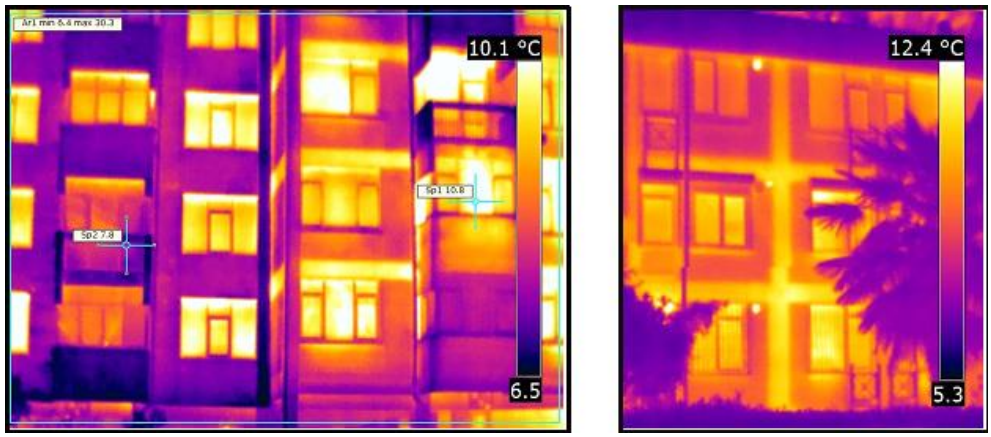
	Malzeme	Kalınlık (m)	Isı geçirgenlik λ (W/mK)	Toplam ısı geçirme katsayısı (U değeri) (W/m²K)
Çatı katmanları	Kiremit	0,025	2,400	2,15
	Hava boşluğu	0,400	0,900	
	Bet. Döşeme	0,150	2,500	
	Alçı sıva	0,015	0,400	
Duvar Katmanları	Perlite Sıva	0,020	0,080	1,30
	Tuğla	0,190	0,620	
	Alçı sıva	0,015	0,400	
Döşeme katmanları	Blokaj	0,200	0,840	1,44
	Bet. Döşeme	0,150	2,500	
	Çimento harç	0,030	0,880	
	Halı	0,010	0,550	

- Binada kullanılan saydam bileşenler tek camlı, ahşap doğrama olup, toplam ısı geçirme katsayısı Up =5,4 W/m²K'dir.
- Uygulamanın yapıldığı binalara ait saydamlık oranları **Çizelge 2**'de gösterilmektedir.

Çizelge 2: Ataköy 5.Kısım Saydamlık Oranları

Saydamlık Oranı	**Kuzey**	**Doğu**	**Güney**	**Batı**
B blok (tümü)	30%	3%	34%	3%
C blok (C9 hariç)	29%	3%	45%	3%
D blok (D6 ve D9 hariç)	46%	3%	54%	3%
	Kuzey-Doğu	**Güney-Doğu**	**Güney-Batı**	**Kuzey-Batı**
C6	29%	3%	45%	3%
D6, D9	46%	3%	54%	3%

Binaların cepheleri termal kamera ile görüntülendiğinde Ataköy 5. kısım yerleşmesindeki bir çok blok tipinde ısı yalıtım uygulamasının eksik olduğu görülmektedir. (**Şekil 3**)



Şekil 3: B ve C blok termal kamera ile alınan görüntüler

Termal kamera ile elde edilen fotoğrafta da gözlemlendiği gibi bazı binalarda kullanıcılar kabuğun performansını arttırmak ve ısıtma yükü harcamalarını azaltarak konfor gereksinimlerini sağlamak amacıyla bina kabuğunda iyileştirmeler yapmışlardır. **Şekil 3**'teki fotoğrafta ısı yalıtımı uygulanmış ve uygulanmamış iki bina yan yana görülmektedir. Tüm bu veriler yardımıyla ele alınan Ataköy 5. Kısım yerleşmesinde CO_2 salım miktarı hesaplamaları aşağıdaki gibi yapılmıştır.

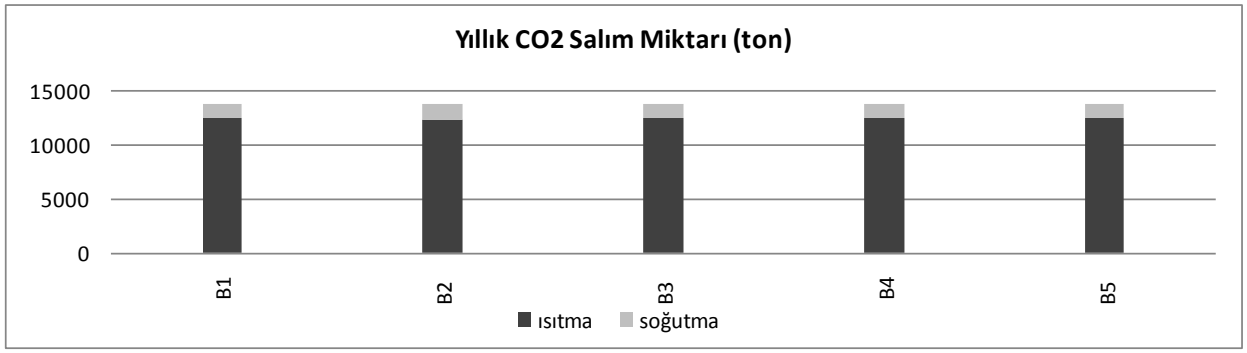
3.1. Toplu Konut Yerleşmesindeki Binaların CO_2 Salım Miktarının Hesaplanması

Bu çalışmada ısıtma, soğutma yükleri ve CO_2 salımı miktarlarının hesaplanması için Ecotect Analysis programı kullanılmıştır. Ecotect similasyon programı, ısıl performans ve CO_2 salım hesaplamaları için CIBSE (Chartered Institution of Building Services Engineers) Guide'da (1988) tanımlanan "Admittance Yöntemi"ni kullanmaktadır. Bu yöntem, sürekli hal analizine dayanarak binanın dinamik tepkisinin simüle edilebilmesine olanak sağlamaktadır **[5].**
Binaların CO_2 salım miktarlarının belirlenmesi, yapılacak iyileştirme önerilerinin geliştirilebilmesi ve sonuçların değerlendirilebilmesi açısından oldukça önemlidir. Hesapların yapılabilmesi için A, B, C, D ve E2 blokları vaziyet planına uygun olarak modellenmiştir.

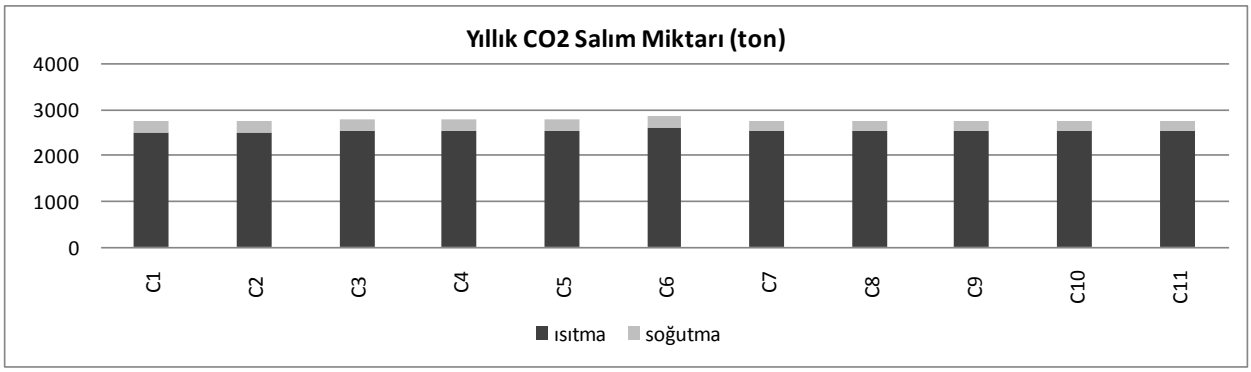
Hesaplamalarda çevre binaların oluşturduğu gölgeli alanlara bağlı olarak kazanılan güneş ışınımı miktarları da göz önünde bulundurulmuştur. B, C ve D blokları için CO_2 salım miktarları hesaplamalarına ilişkin kabuller aşağıdaki gibidir.

- Simülasyonlarda ele alınan İstanbul şehrine ait iklimsel veriler "epw" (Energy Plus Weather) formatında düzenlenerek, Ecotect Analysis simülasyon programında iklim data dosyası olarak hesaplamalarda kullanılmak üzere "wea" formatına çevrilmiştir.
- İç hava sıcaklığı konfor değeri; ısıtmanın istendiği dönem için 19° C, soğutmanın istendiği dönem için ise 26° C olarak belirlenmiştir.
- Isıtma sistemi için doğalgaz yakıtlı, sıcak sulu radyatörlü merkezi sistem seçilmiştir.
- Soğutma için elektrikli bir sistem kullanıldığı kabul edilmiştir.
- Sıcak su üretimine ilişkin enerji harcamaları hesaplamalara katılmamıştır.
- Mekanik havalandırma kullanılmamış, doğal havalandırmadan yararlanılmıştır.
- Nem kontrolü hesaplara dahil edilmemiştir.
- Binanın haftanın 7 günü 24 saat kullanıldığı varsayılmıştır.
- Hesaplamalarda tüm mekanlarda iç hava sıcaklığının eşit olduğu ve binaya ait iç döşeme ve iç bölme duvarlarının tümü kaldırılarak binaların tek bir hacimden oluştuğu kabul edilmiş ve binanın tüm hacmi ısı kayıp ve kazanç hesaplamalarında esas alınmıştır.
- Hesaplamalarda bina kabuğu opak bileşeninin güneş ışınımına karşı yutuculuk katsayısı a: 0,70 olarak belirlenmiştir.

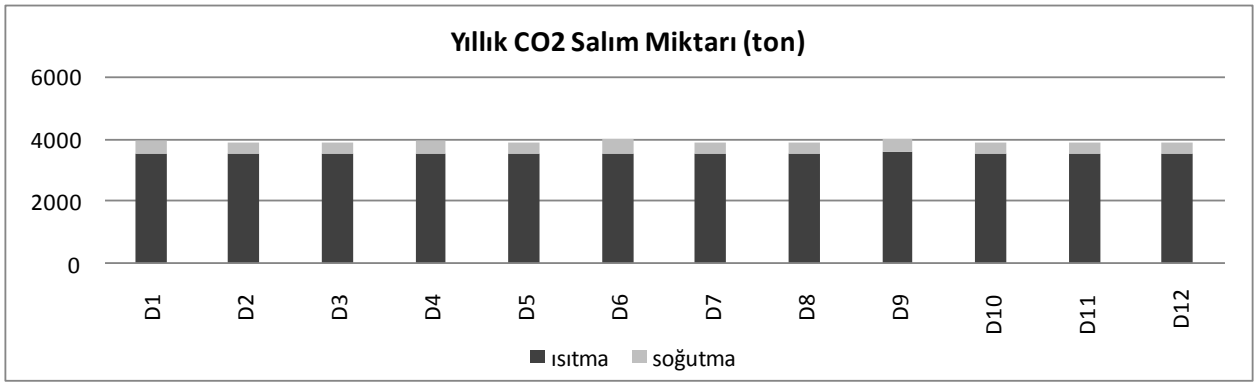
Tüm bu bilgiler doğrultusunda B,C ve D bloklarının mevcut durumuna ait ısıtma ve soğutma yüklerinden kaynaklanan yıllık CO_2 salım miktarları hesaplanmıştır. B,C ve D bloklarına ait yıllık CO_2 salım miktarları sırasıyla **Şekil 4**, **Şekil 5** ve **Şekil 6**'da gösterilmektedir.



Şekil 4: B bloklarının mevcut durumuna ait yıllık CO_2 salım miktarı



Şekil 5: C bloklarının mevcut durumuna ait yıllık CO_2 salım miktarı



Şekil 6: D bloklarının mevcut durumuna ait yıllık CO_2 salım miktarı

3.2. Toplu Konut Yerleşmelerinde CO_2 Salım Miktarını Azaltmak Amacı ile Bina Kabuğu için İyileştirme Önerilerinin Geliştirilmesi ve Geliştirilen Öneriler için CO_2 Salım Miktarlarının Yeniden Hesaplanması

Çalışmanın bu kısmında binaların toplam enerji harcamalarını ve CO_2 salım miktarlarını azaltmak amacıyla bina kabuğu için uygun iyileştirme alternatifleri geliştirilmiştir. Bina kabuğu için geliştirilen iyileştirme önerileri aşağıdaki gibi açıklanmıştır.
İyileştirme önerisi 1: TS 825 Binalarda Isı Korunumu yönetmeliği gereğince bina kabuğunun saydam kısımlarını oluşturan pencere doğraması ve pencere camına ait toplam ısı geçirme katsayılarını iyileştirmek.
İyileştirme önerisi 2 : TS 825 Binalarda Isı Korunumu yönetmeliği gereğince dış kabuğun opak kısımlarını oluşturan çatı, duvar ve döşemesine ait toplam ısı geçirme katsayılarını iyileştirmek.
İyileştirme önerisi 3: İyileştirme önerisi 1 ve iyileştirme önerisi 2'yi birlikte uygulayarak binanın enerji performansını iyileştirmek.
TS 825 Binalarda Isı Korunumu yönetmeliğinin İstanbul'un da içinde bulunduğu 2. bölge için önerdiği yapı bileşeninin sahip olması gereken toplam ısı geçirme katsayısı (U değeri) üst sınır değeri **Çizelge 3**'te gösterilmiştir.

Çizelge 3: TS 825 Isı Korunumu Yönetmeliğine göre kabul edilen üst sınır U değerleri **[6]**

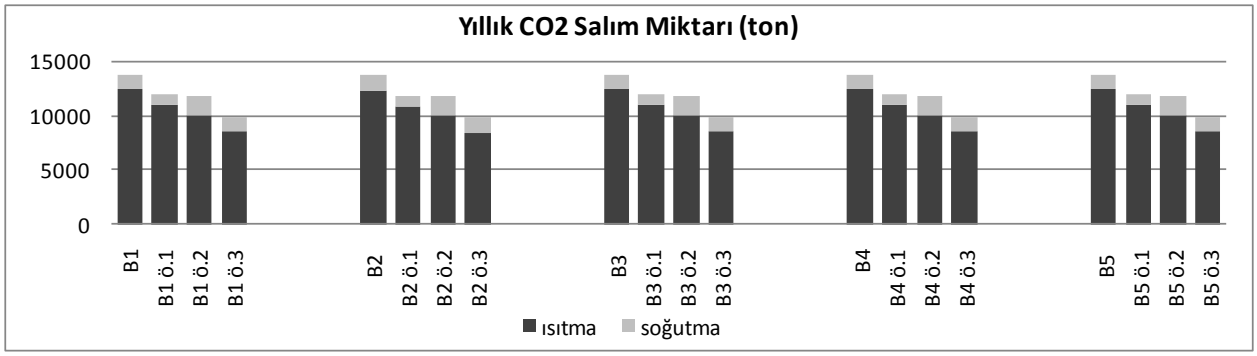
	U_D	U_T	U_t	U_{p*}
	(W/m^2k)	**(W/m^2k)**	**(W/m^2k)**	**(W/m^2k)**
2.Bölge	**0,6**	**0,4**	**0,6**	**2,4**

- Mevcut binaların önerilen toplam ısı geçirme katsayısı değerlerini sağlayabilmesi için önerilen yeni bina kabuğu detayları **Çizelge 4**'te gösterilmiştir.
- Mevcut hali 5,40 W/m²K olan tek camlı ahşap doğramalardan oluşan saydam bileşenler TS 825 ısı yönetmeliği gereğince, toplam ısı geçirgenlik katsayısı 2,40 W/m²K değerinden küçük olan iyileştirilmiş saydam bileşenlerle değiştirilmiştir. Seçilen pencereler LowE çift camlı ve ahşap doğramalı olup, bu pencerelere ait Up değeri 2,26 W/m²K'dir.

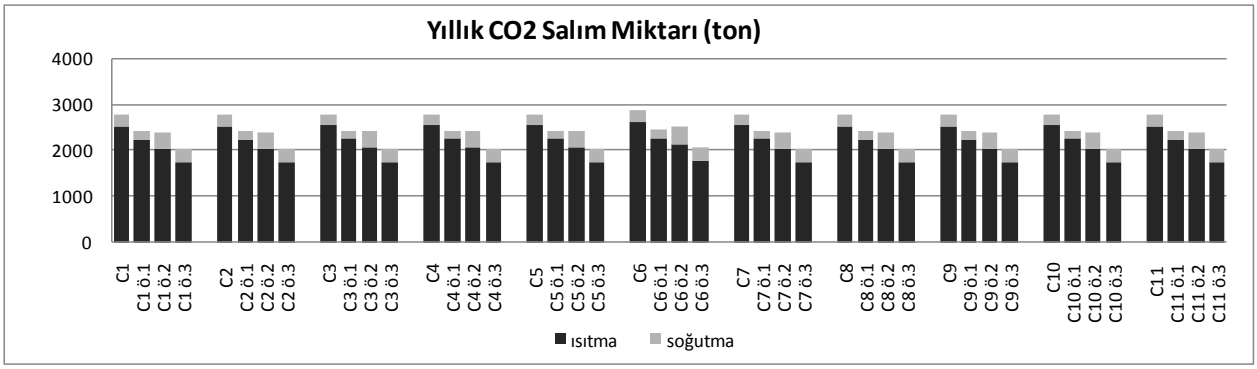
Çizelge 4: İstanbul ili için TS 825 Binalarda Isı Korunumu yönetmeliğine uygun toplam ısı geçirme katsayılarını (U değeri) sağlayan bina kabuğu detayları

	Malzeme	Kalınlık (m)	Isı geçirgenlik λ (W/mK)	Toplam ısı geçirme katsayısı (U değeri) (W/m²K)
Çatı katmanları	Kiremit	0,025	2,400	0,39
	Hava boşluğu	0,400	0,900	
	XPS yalıtım	0,070	0,330	
	Bet. Döşeme	0,150	2,500	
	Alçı sıva	0,015	0,400	
Duvar Katmanları	Perlite Sıva	0,020	0,080	0,59
	XPS yalıtım	0,030	0,330	
	Tuğla	0,190	0,620	
	Alçı sıva	0,015	0,400	
Döşeme katmanları	Blokaj	0,200	0,840	0,57
	Bet. Döşeme	0,150	2,500	
	XPS yalıtım	0,350	0,330	
	Çimento harç	0,030	0,880	
	Halı	0,010	0,550	

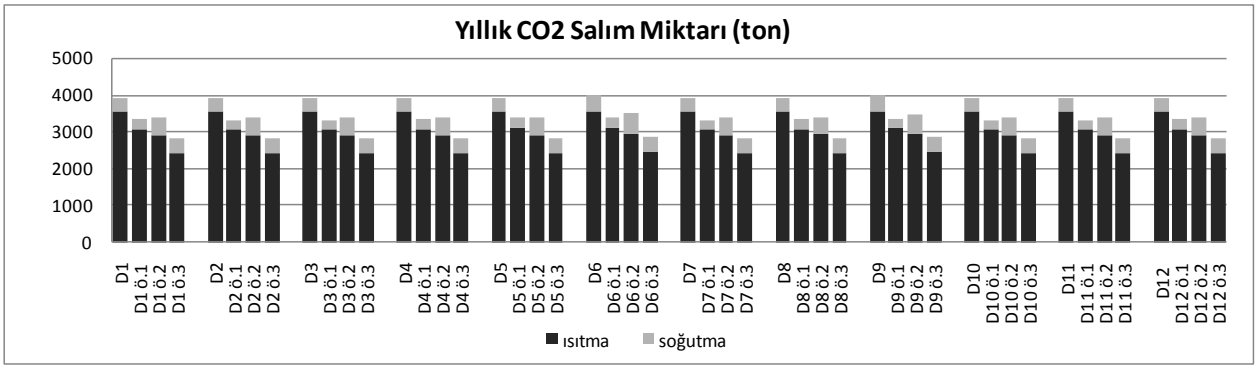
Geliştirilen iyileştirme önerileri B, C ve D blokları için adım adım uygulanmış ve blokların ısıtma ve soğutma enerjisi kaynaklı CO_2 salım miktarları yeniden hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda bu bloklara ait mevcut durumda, öneri 1, öneri 2 ve öneri 3 sonucu oluşan yıllık toplam CO_2 salım miktarları **Şekil 7**, **Şekil 8** ve **Şekil 9**'da gösterilmektedir.



Şekil 7: Uygulanan iyileştirme önerileri sonucu B bloklara ait yıllık CO_2 salım miktarı



Şekil 8: Uygulanan iyileştirme önerileri sonucu C bloklara ait yıllık CO_2 salım miktarı.



Şekil 9: Uygulanan iyileştirme önerileri sonucu D bloklara ait yıllık CO_2 salım miktarı

İyileştirme önerisi 1 ile yıllık CO_2 salım miktarı B bloklarda ortalama %13,5, C bloklarda %13 ve D bloklarda %15 oranında azalmıştır. İyileştirme önerisi 1 ile ısıtma yükleri B, C ve D blokları için sırasıyla %12, %11 ve %13 azalmıştır, soğutma yükleri ise sırasıyla % 29, %28 ve %33 azalmıştır.

İyileştirme önerisi 2 ile yıllık CO_2 salım miktarı B bloklarda ortalama %14.3, C bloklarda %13, ve D bloklarda %13 oranında azalmıştır. Ancak iyileştirme önerisi 2 ile ısıtma yükleri B, C ve D blokları için sırasıyla %19, %19 ve %17 azalırken soğutma yükleri %30, %46, %31 artmıştır.

İyileştirme önerisi 3 ile yıllık CO_2 salım miktarı B bloklarda ortalama %28, C bloklarda %27 ve D bloklarda %28 oranında azalmıştır. Ancak iyileştirme önerisi 2'de gözlemlendiği gibi iyileştirme önerisi 3 ile de ısıtma yükleri B, C ve D blokları için sırasıyla %32, %31 ve %31 azalırken soğutma yükleri % 4, %19, %3 artmıştır.

4. SONUÇLAR

Uygulama kapsamında Ataköy 5. kısım toplu konut yerleşmesinde yer alan B,C ve D tipi bloklara ait 28 binada, bina kabuklarına TS 825 "Binalarda Isı Korunumu Yönetmeliği" gereğince iyileştirilme çalışmaları yapılmıştır. İyileştirme önerilerinin bina kabuğunda uygulanması sonucunda binaların harcadıkları yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi miktarlarında ve CO_2 salım miktarlarında azalma sağlanmıştır. Konutlarda yapılan bu tür iyileştirme çalışmaları sayesinde enerji kayıpları fazla olan mevcut konut stokları, enerji korunumlu binalar haline getirilebilmektedir. Bu çalışmanın sonucunda;

- Bina kabuğunun saydam bileşeninde uygulanan iyileştirme önerilerinin; hem ısıtma hem de soğutma yüklerini azalttığı ve binanın toplam enerji yüklerini ve toplam CO_2 salım miktarlarını da azalttığı,
- Bina kabuğunun opak bileşeninde uygulanan iyileştirme önerilerinin; ısıtma yüklerini azalttığı, soğutma yüklerini arttırdığı ancak binanın toplam enerji yüklerini ve toplam CO_2 salım miktarlarını azalttığı,

- Bina kabuğunun opak ve saydam bileşeninde birlikte uygulanan iyileştirme önerilerinin ısıtma yüklerini azalttığı, soğutma yüklerini arttırdığı ancak binanın toplam enerji yüklerini ve toplam CO_2 salım miktarlarını azalttığı belirlenmiştir.

Bu bilgiler çerçevesinde;

- Binaların enerji etkin tasarlanmasının binaların çevre kirliliği kaynakları olmasını engellediği ve sera etkisi oluşumunun azaltılmasında etken olduğu,
- Bina kabuğunun opak ve saydam bileşeni için geliştirilecek iyileştirme önerilerinin; yerleşmenin bulunduğu iklim bölgesinde ısıtmanın istendiği dönem veya ısıtmanın istenmediği dönemlerden hangisinin daha etkin olduğuna bağlı olarak ele alınması gerektiği sonuçlarına ulaşılmıştır.

Mevcut bir toplu konut yerleşmesi ele alınarak gerçekleştirilen bu değerlendirme çalışması yardımıyla, küresel ısınmanın engellenmesi ve enerji harcamalarının azaltılması konularının öncelikli olduğu günümüz koşullarında; mevcut konut stoklarında yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi harcamalarını ve CO_2 salım miktarını azaltmak için alınabilecek önlemlerin katkısı ortaya konmuştur .

KAYNAKLAR

1. Türkeş M., 2008. Küresel İklim Değişikliği ve Gelecekteki İklimimiz, Ankara

2. World Energy Council (WEC), 2007. Energy and Climate Change.

3. Kadıoğlu M., 2008. TMMOB İklim Değişimi ve Türkiye, Günümüzden 2100 Yılına Küresel İklim Değişimi

4. Kundakçı Ö., 2013. Binalarda Toplam Enerji Harcamalarının ve CO_2 Salım Miktarlarının Azaltılması Amacıyla Bir Toplu Konut Örneğinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

5. Autodesk Ecotect Analysis , 2010-2011. CIBSE Guide.

6. TS 825, 2008. Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara..

SICAK KURU İKLİM BÖLGESİNDE YERLEŞME DOKUSU-FORM-ENERJİ ETKİLEŞİMİ

Mim. İdil Erdemir[a]
Prof. Dr. Gül Oral Koçlar[b]
İTÜ Mimarlık Fakültesi
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437[a]

ÖZET

Farklı iklim bölgelerinde yer alan geleneksel mimari örnekleri incelendiğinde, iklimle uyumlu enerji etkin tasarım parametrelerinin en uygun değerlerinin kullanılarak enerji harcamalarını minimize eden yapılar görülmektedir. Bu doğrultuda geleneksel yapılar yıllar süren deneyim ile kazanılan birçok bilginin aktarımı sonucu çağdaş tasarımlara önemli veriler sunmaktadır. Enerji etkin bina tasarımı, tasarım aşamasında yerleşme dokusu, bina formu ve bina kabuğu gibi tasarım parametrelerine ilişkin doğru kararların alınmasıyla olanaklıdır. Bu bildiri kapsamında Türkiye'de yer alan iklim bölgelerinden sıcak-kuru iklim bölgesini temsil eden Diyarbakır yöresinin iklimsel verileri ve geleneksel konut özellikleri ele alınarak, yapı formu ve yerleşme dokusu parametrelerinin ısıtma-soğutma enerjisi harcamaları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmada geliştirilen farklı yapı formu ve yerleşme dokusu alternatifleri, Design Builder adlı enerji simülasyonu programında modellenerek ısıtma-soğutma enerjisi harcamaları bakımından karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçları irdelendiğinde, sıcak-kuru iklim bölgesine uyumlu geleneksel Diyarbakır evlerinin tasarım özelliklerinden yola çıkarak geliştirilen alternatiflerde farklı form ve yerleşme dokusu parametrelerinin, ısıtma ve soğutma yükleri üzerinde çok etkili olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, sistematik yaklaşımla belirlenen değişkenler ile tasarım aşamasında alınacak doğru kararların sürdürülebilir çağdaş yerleşmelerin gerçekleştirilmesindeki önemi tartışılmıştır.

Anahtar sözcükler: Sıcak-Kuru İklim Bölgesi, Isıtma-Soğutma Yükleri, Yapı Formu, Yerleşme Dokusu

ABSTRACT

Various examples of traditional architecture in different climatic zones prove that choosing appropriate values for energy efficient design parameters results in low energy buildings. In this context, traditional buildings offer the knowledge gained through many years of experience to contemporary building design. Energy efficient building design is ideally provided by determining right decisions for the design parameters such as settlement pattern, building form and building envelope during design stage. This paper aims to investigate the effect of building form and settlement pattern on heating and cooling loads in Diyarbakır as the representative city of the hot-dry climate zone of Turkey. In order to compare the energy consumed via heating and cooling, energy simulations for different building form and settlement pattern alternatives are carried out by an energy simulation program, Design Builder. The simulation results of the alternatives developed based on the characteristics of traditional Diyarbakır houses show that building form and settlement pattern parameters have a considerable impact on heating and cooling loads. As a result, the importance of the variables determined in a systematic approach and the decisions taken during the design stage of sustainable contemporary settlements is discussed.

Key words: Hot-Dry Climate Zone, Heating-Cooling Loads, Building Form, Settlement Pattern

[a] e-posta adresi: erdemiridil@gmail.com
[b] e-posta adresi: gkoclaroral@gmail.com

1.GİRİŞ

Günümüzde mimarların en önemli görevlerinden birisi sağlıklı, kaliteli yapma çevreler oluştururken gelecek kuşakların da gereksinmelerini karşılamalarına olanak sağlayacak sürdürülebilir çevreleri yaratmaktır. Mimarlıkta sürdürülebilir çevrenin hedefi, insanın tüm ihtiyaçlarını doğal döngülerine zarar vermeden, doğal enerji kaynaklarını etkin kullanarak sağlamaktır. Enerji kaynaklarının büyük bir bölümünün binalar tarafından tüketildiği bilinmektedir. Bu nedenle çevre ve enerji sorunlarının çözümüne olanak verecek bina tasarımı öncelikle ele alınmalıdır. Çevre ve enerji sorunlarının çözümünde sürdürülebilir çevrenin sağlanmasında doğal bir çözüm olan sürdürülebilir enerji kavramı, ihtiyaç duyulan enerjinin yenilenebilir ve doğal kaynaklar aracılığı ile en az mali harcama yapılarak sürekli olarak sağlanabilmesi olarak tanımlanabilir.

Mimarlıkta sürdürülebilir enerji sağlayan bina tasarımı gerçekte yeni bir kavram olmayıp, tarih boyunca geleneksel uygulamalarda sürekli olarak gerçekleştirilmiştir. Türkiye'deki beş farklı iklim bölgesinde tasarım değişkenleri için doğru kararlar alınması, iklimsel bölgelere göre değişkenlik gösteren güneş ışınımı, dış hava sıcaklığı, nemlilik ve dış hava hareketi gibi dış iklim elemanlarının kontrolünde geleneksel mimaride özgün önlemler geliştirilmesiyle mümkün olmuştur. İklimle dengeli yapı tasarımında amaç yöresel iklimsel etkilerden optimum yararlanan enerji etkin yapılar tasarlamaktır **[1].** İklimsel özelliklere göre enerji tüketimini azaltmada etkili olan tasarım parametreleri; yerleşme dokusu, bina formu, binanın yönlendirilişi ve bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleridir.

Bu bildiri kapsamında Türkiye'de yer alan iklim bölgelerinden sıcak kuru iklim bölgesini temsil eden Diyarbakır yöresi ele alınmıştır. Yazların çok sıcak, kışların soğuk, ve nemin az olması ve gece-gündüz sıcaklık farklarının çok fazla olduğu iklimi nedeniyle Diyarbakır'ın geleneksel konut yapıları, özellikle avlulu ve kompakt bina formları ve sıkışık yereleşme dokusuyla özel bir öneme sahiptir. Bu açıdan çalışmada yörenin iklimsel verileri ve geleneksel konut özellikleri ele alınarak, yapı formunun ve yerleşme dokusunun ısıtma-soğutma enerjisi harcamaları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmada farklı yapı formları ve yerleşme dokuları geliştirilerek enerji simülasyonları yoluyla ısıtma-soğutma enerjisi harcamaları karşılaştırılmıştır.

Türkiye'nin tüm gelişen yörelerinde olduğu gibi Diyarbakır'da da modern hayatın getirdiği sosyal yapıdaki değişiklikler ve standardize edilmiş betonarme konut uygulmalarının arttığı görülmektedir. Geleneksel yapıların aksine, iklim verileri göz ardı edilerek oluşturulan yeni konut stoklarında enerji harcamaları bir hayli yüksektir. Bu açıdan geleneksel konutların tasarım parametrelerinin değerlendirilerek çağdaş enerji etkin konut tasarımına yol gösterici verilerin elde edilmesi büyük bir önem taşımaktadır. Diğer taraftan global ısınma nedeniyle oluşan iklim değişikliği sonucu Dünya Bankası "İklim Değişikliği ve İklim Verileri" (Climate Change and Climate Data) raporuna göre 2050 yılında çölleşme etkisi ile sıcak kuru zonun dünya genelinde genişleyeceği ve Türkiye'nin bu değişimlerden oldukça etkileneceği bildirilmektedir **[2].** Bu doğrultuda, sahip olduğu karakteristik özelliklerinini geleneksel mimariye çok belirgin olarak yansıtan sıcak-kuru iklim verilerinin değerlendirilmesinin önem taşıyacağı söylenebilir.

2. GELENEKSEL DİYARBAKIR EVLERİNİN YERLEŞME DOKUSU VE BİNA FORMLARI

Türkiye'nin güneydoğusunda Diyarbakır Havzası'nda yer alan Diyarbakır ilinin çevresini yüksek dağlar kuşatırken, ortası Diyarbakır Havzası olarak adlandırılan bir düzlüktür. Bölgede kuvvetli karasal etki ile sıcak-kuru bir iklim egemendir. Yazları güneyden gelen çöl etkisi ile çok sıcak ve kurak geçerken, kışları Güneydoğu Toroslar yayının kuzeyden gelen soğuk rüzgarları kesmesi sonucu çok soğuk geçmemektedir. Meteorolojik verilere göre, en yüksek sıcaklık ortalama 31.2°C ile temmuz ayında, en düşük ortalama ise 1.6°C ile ocak ayında görülmüştür **[3]**.

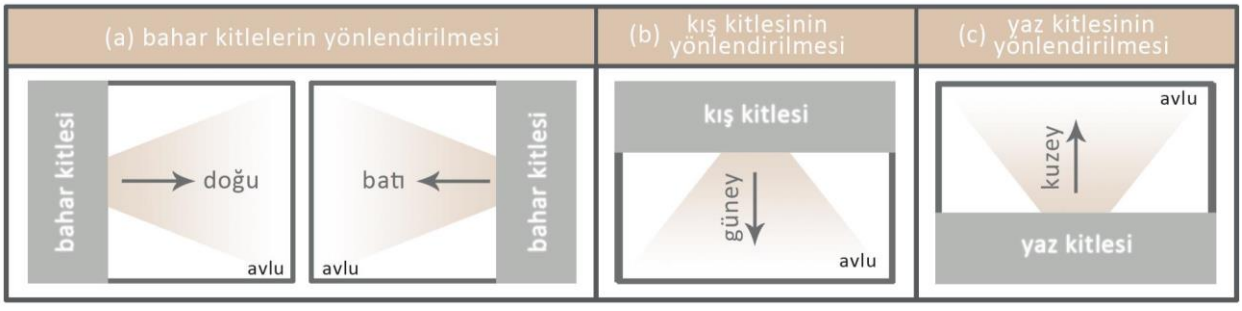
Bu koşullar içinde yer alan geleneksel Diyarbakır, evleri iklimle dengeli tasarım parametre değerlerine sahiptir. Çalışmada enerji etkinliği açısından ele alınan geleneksel yapıların ve yerleşme dokusunun özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

2.1. Yerleşme Dokusu Özellikleri

Diyarbakır eski şehir yerleşimi, Dicle kıyısında yer alan sur içi alanda; su, toprak, yeşil alan gibi farklı ekolojik dokuların uyumu içinde yer almaktadır **[3]**. Bu sınırlandırılmış alana yerleşme zorunluluğu evlerin birbirleriyle kurdukları ilişkileri ve yapıların plan düzenlerini etkileşmiştir. Bitişik düzen içine organik formlarda yerleşen dışa kapalı konutların yüksek duvarları arasında yer alan dar sokaklar, evleri bağlayan kabaltılar altında gölgeli alanlar sağlayacak şekilde oluşmuşlardır.

2.2. Yapı Özellikleri

Geleneksel Diyarbakır evlerinin tasarımında iklimin çok önemli bir faktör olarak ön plana çıktığını görülmektedir. Sıcak-kuru iklim bölgelerinde yaygın olarak kullanılan avlulu yapı formu, bu bölgede de görülmektedir. Avlu tüm gün gölgeli ve konforlu alanlar sağlamaktadır. Aynı zamanda avlu aracılığı ile gündüzleri konveksiyon ile yapının içerisinde biriken sıcak havanın uzaklaştırılması sağlanırken, geceleri iç mekana serin hava girişi ile strüktürün serinletmesi sağlanmaktadır. Yapıların en karakteristik özelliği, planlarda görülen parçalanmalar sonucu ortaya çıkan ve avlu etrafında konumlandırılmış mevsimlik kitlelerdir. Bu kitlelerin güneş ışınımı optimizasyonu açısından uygun yönlendirilmeleri sonucu farklı iklimsel gereksinimlere uyum sağlayan ve dönemsel olarak kullanılan hacimler ortaya çıkmaktadır (**Şekil 1**). Bazı durumlarda yazlık ve kışlık kitlenin yanı sıra baharlık kullanım için oluşturulan kitleler de görülmektedir **[5]**.



Şekil 1: Avlu çevresindeki kitlelerin uygun yönlendirilme şekilleri [5]

Yazlık bölümler avlunun güney tarafına ve güneş ışınlarının ısısal etkisine karşı korunmak için kuzeye bakacak şekilde, genellikle bodrum kat üstüne 2 katlı olarak konumlandırılmıştır. Yazın ikinci kat yaşama alanı olarak kullanılırken, yüksek tavanları olan odalarda günün en sıcak zamanı hissedilen aşırı ısınma, pencere kanadı açılarak oluşturulan hava akımları ile engellenebilmektedir. Yaz kütlesinin karşısında konumlanan kış bölümü ise genellikle tek katlı olarak soğuk kuzey rüzgarlarından korunmak için güneye bakacak şekilde inşa edilmiştir. Taban alanları küçük ve tavan yükseklikleri düşük odaların cephelerine, hava hareketleri nedeniyle oluşan ısı kayıpları azaltmak için az sayıda küçük pencereler yerleştirilmiştir **[4**].

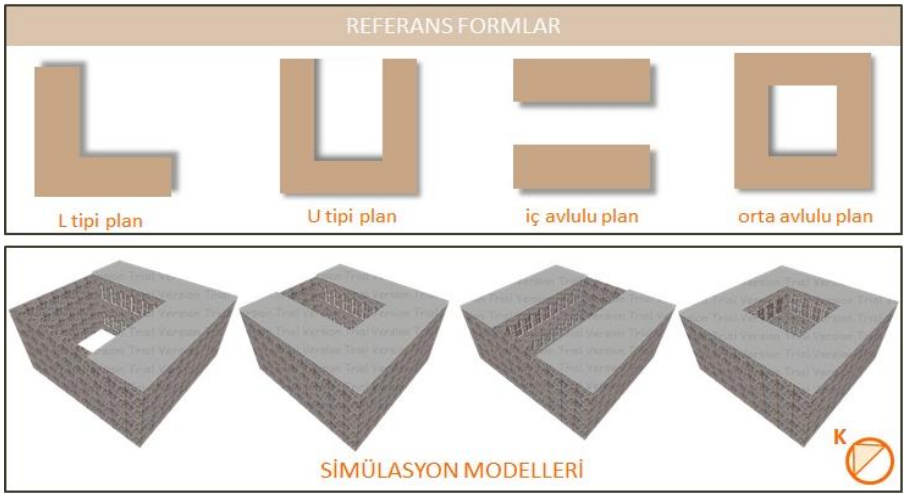
Şehrin Karacadağ volkanik bir alanı üzerinde yer alması nedeniyle olan bazalt taşı, yörede yaygın olarak bulunmaktadır. Geleneksel evlerde yaygın olarak kullanılan bu taşın ısıl iletim katsayısı 1.40 W/m°K ‘dir **[6]**. Bu malzeme ile oluşturulan 50-80 cm aralığında değişen duvarlar, malzeme özellikleri sayesinde yüksek ısıl depolama kapasitesine ve uzun zaman geciktirme özelliğine sahiptir. Yapıların bir başka karakteristik özelliği ise ışınımın iç ortama etkisinin azaltılmasını sağlayan, topraktan yapılmış 30-50cm yüksekliğindeki düz çatılardır **[7].**

3. ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ VE KAPSAMI

Çalışmanın amacı; detaylı olarak analiz edilen geleneksel Diyarbakır evlerinin özelliklerinden yararlanılarak geliştirilen farklı bina formları ve yerleşme dokusu parametrelerine sahip evlerin enerji simülasyonu yoluyla ısıtma ve soğutma enerjisi harcamalarını belirleyerek, bu parametrelerin enerji harcamalarına etkisini irdelemektir.

3.1.Bina formu alternatiflerinin belirlenmesi

Bina formu alaternatiflerinin belirlenmesinde sıcak-kuru iklim bölgesinde yaygın olarak kullanılan planlar üzerine yapılan önceki çalışmalardan yararlanılmış **[8, 9, 10]** ve Diyarbakır yöresi evlerinin özellikleri incelenmiştir. Yaygın olarak kullanılan formlar değerlendirilerek, çalışmada esas olarak kullanılan dört referans tip ele alınmıştır: **L tipi plan, U tipi plan, iç avlulu plan** ve **orta avlulu plan tipi** (**Şekil 2**).

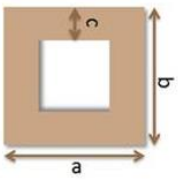


Şekil 2: Çalışmada referans kabul edilen plan tipleri

Bina formu, biçim faktörü (plandaki bina uzunluğunun bina derinliğine oranı),bina yüksekliği, çatı türü (düz, beşik ve kırma çatı), çatı eğimi, cephe eğimi gibi binaya ilişkin geometrik değişkenler aracılığıyla tanımlanabilir. Aynı hacimli, farklı dış kontura, diğer bir deyişle, farklı dış cephe alanına sahip birden fazla bina formu belirlemek mümkündür. Buna bağlı olarak farklı formlardaki binaların ısıtma ve soğutma harcamaları farklı olacaktır. Bu noktada, toplam ısı kayıp alanı (A) ile binanın ısı kayıplarına karşı korunmuş hacmi (V) arasındaki oranın ele alınması ve A/V ile ısıtma ve soğutma enerjisi harcamaları arasındaki ilişkinin incelenmesi ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada **0.50, 0.75** ve **1.00** olarak üç farklı A/V oranı belirlenmiştir. Binalar 2 katlı olup kat yükseklikleri 4 m olarak alınmıştır. Herbir A/V oranı için farklı plan tiplerinin genişlik (a), derinlik (b) ve hacim derinliği (c) ölçüleri birbirine yakın değerlerde seçilmiştir (**Çizelge 1**).

Çizelge 1: Bina boyutları ve A/V oranları

ORTA AVLULU PLAN				
a (m)	b (m)	c (m)	h (m)	A/V
25.00	25.00	8.00	8.00	**0.50**
15.00	15.00	4.00	8.00	**0.75**
13.00	13.00	2.75	8.00	**1.00**
U TİPİ PLAN				
a (m)	b (m)	c (m)	h (m)	A/V
25.00	25.00	8.50	8.00	**0.50**
15.00	15.00	4.50	8.00	**0.75**
13.00	13.00	3.00	8.00	**0.99**
L TİPİ PLAN				
a (m)	b (m)	c (m)	h (m)	A/V
25.00	25.00	9.00	8.00	**0.52**
15.00	15.00	4.75	8.00	**0.75**
13.00	13.00	3.00	8.00	**1.00**
IÇ AVLULU PLAN				
a (m)	b (m)	c (m)	h (m)	A/V
30.00	30.00	10.00	8.00	**0.51**
15.00	17.00	5.50	8.00	**0.75**
13.00	13.25	3.25	8.00	**1.02**

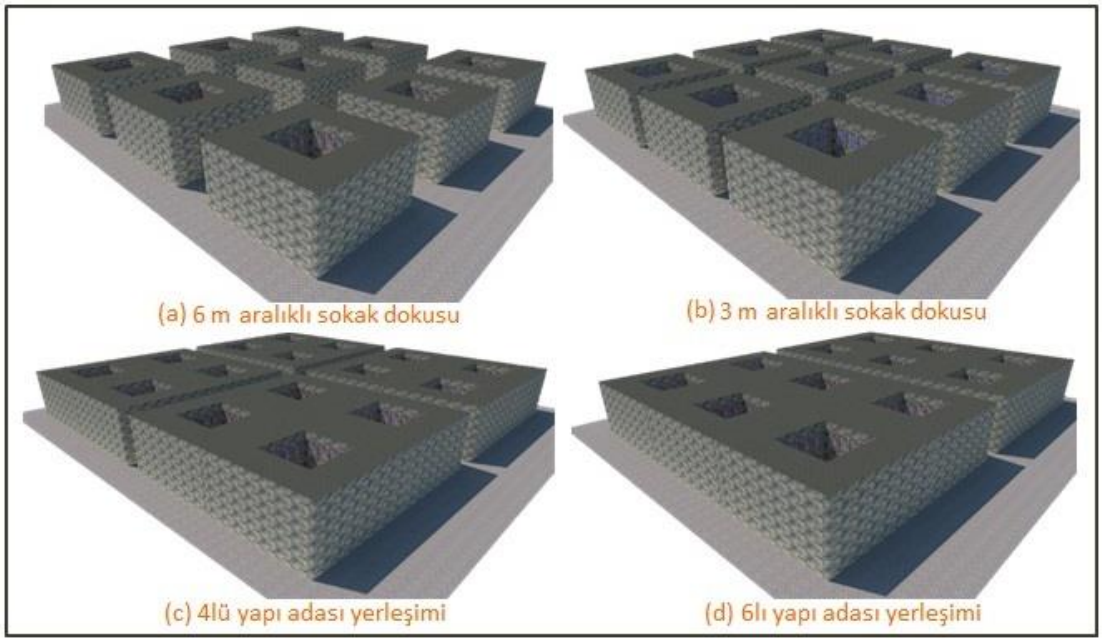


3.2. Yerleşme Dokusu Alternatiflerinin Belirlenmesi

Geleneksel Diyarbakır eski suriçi yerleşiminde, evlerin duvarları ile çevrili sokakların gölgeli alanlar oluşturabilmek adına oldukça dar olduğu görülmektedir. Bu çalışmada herbir A/V oranı ve plan tipi kombinasyonu öncelikle yerleşme dokusundan bağımsız tek bina (referans bina) olarak simüle edilmiştir. Daha sonra sokak genişliğinin enerji harcamalarına etkisini değerlendirebilmek için her bir alternatif mevcut dokuya uygun olarak,

- YD1: 6 metre sokak aralıklı (Şekil 5-a),
- YD2: 3 metre sokak aralıklı (Şekil 5-b)
- YD3: dört yapıdan oluşan yapı adasında iki tarafı komşu binalarla çevrili (Şekil 5-c)
- YD4: altı yapıdan oluşan yapı adasında üç tarafı komşu binalarla çevrili (Şekil 5-d)

yerleşme dokusu içinde modellenerek konutların ısıtma-soğutma yükleri bu doku örnekleri içinde değerlendirilmiştir(Şekil 3).



Şekil 3: Çalışmada kullanılan yerleşme dokuları

3.3. Diğer tasarım parametrelerine ilişkin kabuller

Geleneksel yapılarda genellikle avlu cephelerinde çok sayıda pencere varken sokak cephelerinin çoğunlukla sağır ya da saydamlık oranının çok düşük olduğu görülmektedir **[7]**. Simülasyonda dış cepheye yerleştirilen pencereler, yönlerine bağlı olarak farklı miktarda güneş ışınımı kazancına sahip olabilmektedir. Avlu ve form etkisini karşılaştırma hedefi doğrultusunda ve bitişik yapı adaları da gözönünde bulundurularak, alternatif bina modellerinin dış cephelerinde pencere olmadığı varsayılmıştır. Konutların avlu cephelerinde ise saydamlık oranının %40 olduğu kabul edilmiştir. Pencere boyutları 120x220 cm olup, ahşap çerçeveli ve tek kanatlıdır (**Çizelge 2**).

Çizelge 2: Avlu cephesi saydamlık oranları ve pencere alanları

	ORTA AVLULU PLAN			U TİPİ PLAN			L TİPİ PLAN			İÇ AVLULU PLAN		
	A/V=0.50	A/V=0.75	A/V=1.00	A/V=0.50	A/V=0.75	A/V=1.00	A/V=0.50	A/V=0.75	A/V=1.00	A/V=0.50	A/V=0.75	A/V=1.00
cephe alanı (m^2)	288.00	224.00	240.00	327.50	216.00	216.00	256.00	164.00	160.00	480.00	240.00	208.00
saydamlık oranı	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%
pencere alanı (m^2)	115.20	89.60	96.00	131.00	86.40	86.40	102.40	65.60	64.00	192.00	96.00	83.20

Çalışmada oluşturulan yapı elemanlarında mevcut yapılarda görülen yerel ve sürdürülebilir malzemeler, özgün duruma uygun olacak şekilde kullanılmıştır. Opak bileşenlerin ana malzemesi bazalt taşı olup, opak bileşen katmanları ve malzemelerinin ısı geçişine ilişkin fiziksel özellikleri (ısı iletkenlik kat sayısı, özgül ısı, yoğunluk, kalınlık) **Çizelge 3**'te verilmiştir.

Çizelge 3: Yapı elemanları detayları ve malzemelerinin ısı geçişine ilişkin fiziksel özellikleri

	malzeme	ısı iletkenlik katsayısı (λ)	özgül ısı (c)	yoğunluk (ρ)	kalınlık (d)	U-değeri
		W/m°K	J/kg°K	kg/m³	m	W/m²°K
dış duvar	bazalt taşı	1.40	1013.00	2852.00	0.20	0.98
	moloz	0.36	840.00	1840.00	0.20	
	bazalt taşı	1.40	1013.00	2852.00	0.20	
ara kat döşemesi	bazalt taşı	1.40	1013.00	2852.00	0.10	0.36
	toprak+kireç	1.16	880.00	1460.00	0.20	
	ahşap levha	0.13	2000.00	900.00	0.05	
	ahşap kiriş	0.13	896.00	2800.00	0.25	
zemine oturan döşeme	bazalt taşı	1.40	1013.00	2852.00	0.10	1.50
	toprak	1.28	880.00	1460.00	0.40	
toprak dam	kil	0.47	1000.00	1200.00	0.30	0.32
	toprak	1.28	880.00	1460.00	0.15	
	ahşap levha	0.13	2000.00	900.00	0.05	
	ahşap kiriş	0.13	896.00	2800.00	0.25	

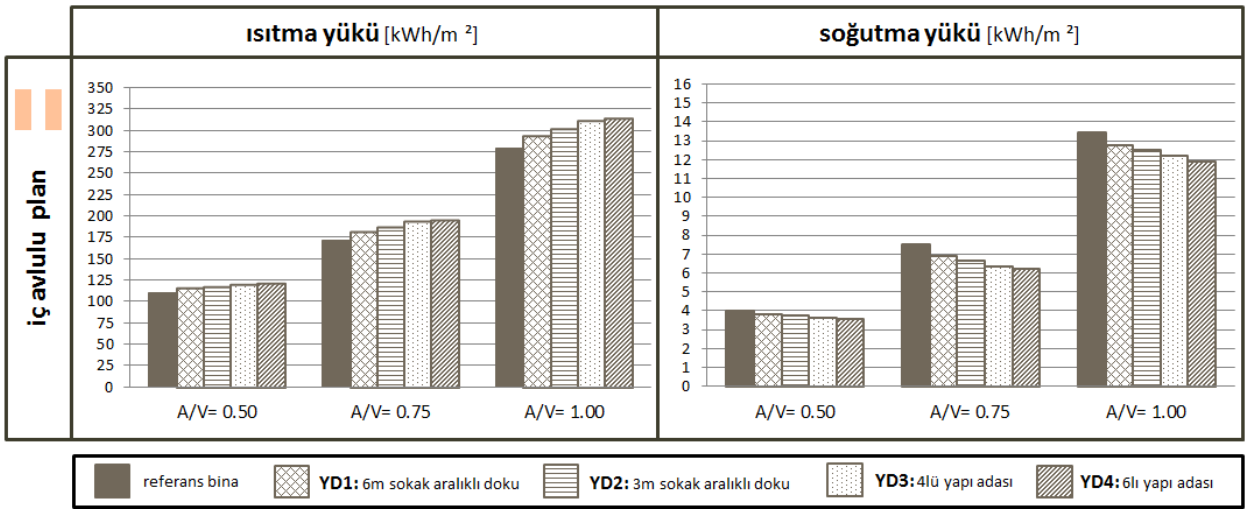
3.4. Isıtma ve soğutma enerjisi harcamalarının hesaplanması ve karşılaştırılması

Geliştirilen alternatiflerin ısıtma ve soğutma enerjisi harcamalarının hesaplanmasında Design Builder enerji simülasyon programı kullanılmıştır. İç hava sıcaklığı konfor değeri ısıtma dönemi için 21°C, soğutma dönemi için de 26°C olarak alınmıştır. Simülasyonlarda Diyarbakır'a ait iklimsel IWEC (Enerji Hesaplamaları İçin Uluslararası İklimsel Veri) veri dosyaları AHSRAE İklim Dizayn Verileri'nden alınarak kullanılmıştır.

Bu çalışmada bina formu ve yerleşme dokusu değişkenlerinin farklı kombinasyonları ile toplam 60 simülasyon yapılmış ve elde edilen ısıtma-soğutma enerjisi harcamaları hesaplanmış, birim alan başına düşen yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi harcamaları (kWh/m^2) birbirleri ile kıyaslanmıştır. Karşılaştırma sonuçlarında A/V oranı büyüdükçe metrekare başına düşen enerji yükü artmaktadır **[11].** A/V oranının 0.50 olması durumunda herbir yerleşme dokusu alternatifi için en düşük ısıtma ve soğutma yükü sağlanmakta, A/V oranının 1 olması durumunda ise en fazla ısıtma ve soğutma yükü harcanmaktadır.

Şekil 4'te iç avlulu plan için 4 farklı yerleşme dokusu alternatiflerinin farklı A/V oranlarına bağlı olarak ısıtma ve soğutma yükleri verilmiştir. Görüldüğü üzere, yerleşme dokularında çevre binalar tarafından sağlanan gölgeli alan arttıkça soğutma yükünde azalma, ısıtma yükünde ise artma olmaktadır. Bu durumda, en düşük soğutma yükü YD4 (6'lı yapı adası) içindeki konutlarda yapılan simülasyonlar sonucu elde edilmiştir. Simüle edilen yapının üç cephesinin komşu konutlarla çevrili olması sayesinde, güneş ışınlarının etkisi azaltılmış olmaktadır ve tek cepheden güneş ışınımı kazancı sağlayan yapı, düşük soğutma yükü değerleri vermektedir. En düşük ısıtma yükü ise binanın yerleşmeden bağımsız olması durumunda (referans bina) elde edilmektedir. Bu durumda kışın güneş ışınımı kazancı nedeni ile ısıtma yükü azalmakta ancak yazın soğutma yükleri artmaktadır.

Şekil 5'te referans olarak alınan bina formları için A/V oranlarına bağlı olarak ısıtma ve soğutma yüklerini açısından karşılaştırmalı olarak vermektedir ve bina formları arasında en düşük ısıtma ve soğutma yükü sağlayan plan tipi alternatifi, iç avlulu plana sahip bina formudur.



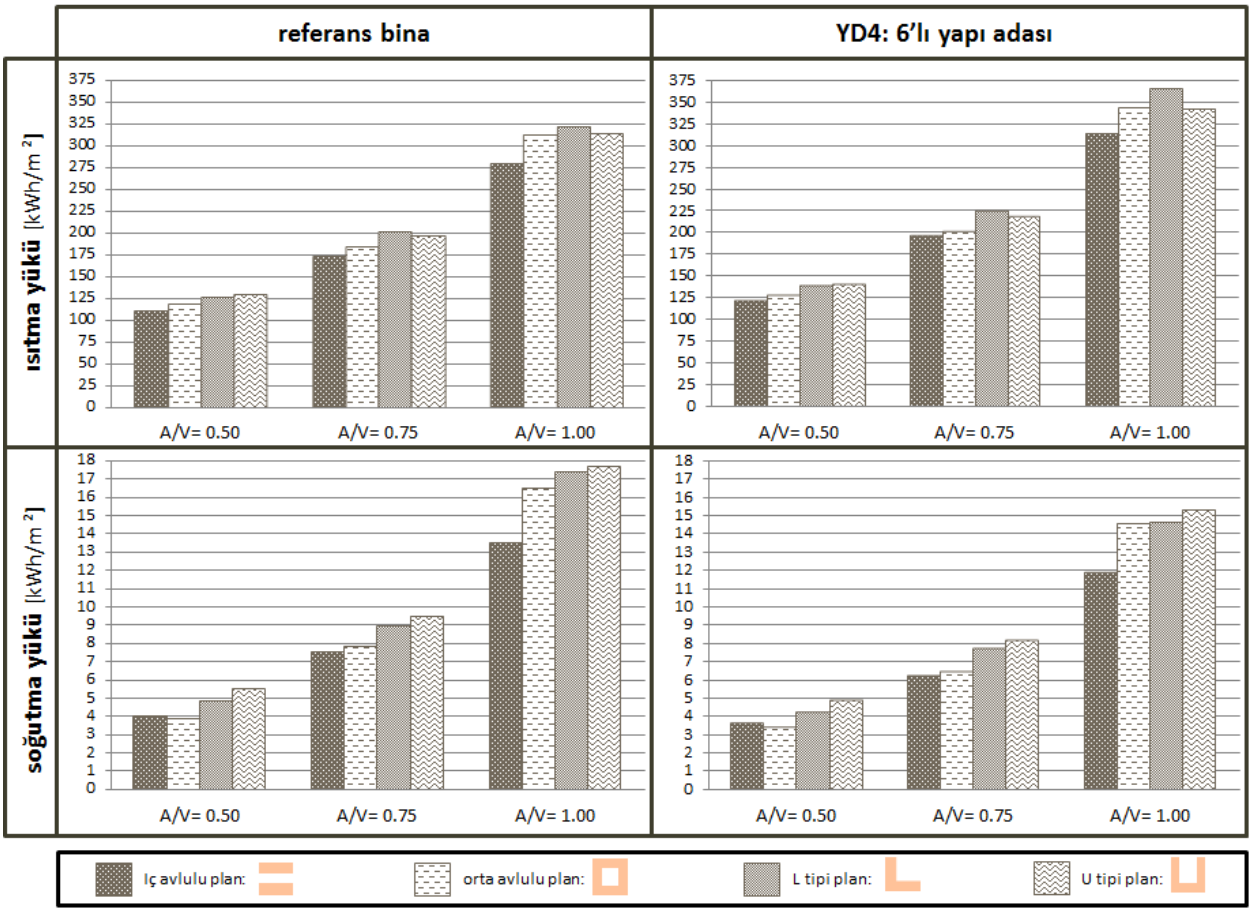
Şekil 4: A/V oranı-yerleşme dokusu etkisi: İç avlulu plan tipi simülasyon sonuçları

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada sıcak kuru iklim bölgesini temsil eden Diyarbakır geleneksel evlerinin tasarım parametreleri örneğinde, farklı bina formları ve yerleşme dokuları alternatiflerinin enerji harcamalarına etkilerini irdelemek için ısıtma ve soğutma enerjisi yüklerinin hesaplanması ve karşılaştırılması hedeflenmiştir.

Enerji simülasyonlarına bağlı olarak hesaplama değerlerinin karşılaştırılması sonucunda, farklı A/V değerleri arasında **en düşük ısıtma yükü değerini** veren alternatif, A/V oranının 0.50 olması durumundaki referans binalardır. A/V oranı 0.50 olan referans binalar arasında en düşük ısıtma yükünü iç avlulu plan (ısıtma yükü= 109.92 kWh/m^2) , en yüksek ısıtma yükünü ise U tipi plan (ısıtma yükü=128.24 kWh/m^2) vermektedir. Bu durumda A/V oranı 0.50 olan U tipi plana sahip binanın ısıtma yükü, iç avlulu plana sahip binaya göre %17 daha fazladır (**Şekil 5**).

Farklı A/V oranı alternatifleri arasında, **en düşük soğutma yükü** değerini veren alternatif, A/V oranı 0.50 olan ve YD4 (altı yapıdan oluşan yapı adasında üç tarafı komşu binalarla çevrili yerleşme dokusu) içinde yer alan orta avlulu plana sahip bina formudur (soğutma yükü=3.61 kWh/m^2). Aynı yerleşme dokusu ve A/V oranına sahip binalar içinde kıyaslama yapıldığında ise en yüksek soğutma yükü U tipi plana sahip binada görülmektedir (soğutma yükü=4.90 kWh/m^2). Bu durumda A/Voranı 0.50 olan U tipi plana sahip binanın soğutma yükü, orta avlulu plana sahip binaya göre %36 daha fazladır (**Şekil 5**).



Şekil 5: Form etkisi: En düşük ısıtma yüküne sahip referans bina ve en düşük soğutma yüküne sahip YD4 (6'lı yapı adası) modellerinin simülasyon sonuçları

Enerji etkin binaların tasarlanması, tasarım parametrelerine ilişkin uygun verilerin analiz edilmesi ile gerçekleştirilebilir. Binaya ilişkin tasarım parametreleri için optimum değerlerin belirlenmesi, binanın enerji harcamalarında etkili olan ısıtma-soğutma işlevleri dışındaki işlevler için de aynı derecede önemlidir. Her açıdan bu parametreler için uygun değer kombinasyonları belirlendikten sonra, bina modelinin kurulması ve analiz edilmesi gerçekleştirilmelidir. Tasarım sürecinde iklimle uyumlu enerji etkin tasarım kararlarının alınmasında en etkili yollardan biri de, geleneksel yapılarda kullanılan enerji etkin tasarım parametrelerinin incelenmesi olacaktır. Geleneksel binalarda kullanılan tasarım parametre değerlerinin gelişmiş yapım teknikleri ile entegre edilerek uygulanması, sürdürülebilir çağdaş yerleşmelerin oluşumunda yol gösterici bir adım olarak değerlendirilmelidir.

KAYNAKLAR

1.G. Koçlar Oral, "Sürdürülebilir enerji ve bina tasarımı", Tasarım Dergisi, 181(Mayıs, 2008, pp:114-117, İstanbul, ISSN 1300-7351.

2. The World Bank (October, 2010). Climate change scenarios and climate data. Discussion paper number 9.

3. Meteoroloji Genel Müdürlüğü İnternet Sitesi. <http://www.mgm.gov.tr >, alındığı tarih 03.06.2013.

4. M. Baran, M. Yıldırım ve A. Yılmaz, "Evaluation of ecological design strategies in traditional houses in Diyarbakır", Journal of Cleaner Production, 19(2011), pp: 609-619.

5. A. Bekleyen, Eski Diyarbakır Evlerinin Kitlesel Biçimlenmesini Etkileyen Asala Etmenlerin Belirlenmesi (Yüksek lisans tezi). Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, (1993, Şubat).

6. A.Erçin Kahveci, Diyarbakir Yöresinde Bazalt Taşinin Yapi Malzemesi Olarak Kullaniminin Incelenmesi Üzerine Bir Araştirma (Yüksek lisans tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, (2008).

7. O. C. Tuncer, Diyarbakır Evleri. DiyarbakIr Büyükşehir Belediyesi Kültür ve Sanat Yayınları, Diyarbakır, (1999).

8. C. Ratti, D. Raydan, & K. Steemers, "Building form and environmental performance: archetypes, analysis and an arid climate", Energy and Buildings, 35(2003), pp: 49–59.

9. G. Manioğlu & Z. Yılmaz, "Building efficient design strategies in hot dry area of Turkey", Building and Environment, 43(2008), pp: 1301-1309.

10. G. Manioğlu & G. Koçlar Oral, "Evaluation of domestic dwellings in hot and dry region of Turkey concerning thermal comfort and energy efficiency", 5. Uluslararası Yapı Fiziği Konferansı, Kyoto, Japonya (Mayıs,2012).

11. V. Gupta, "Thermal efficiency of building clusters: an index for nonair-conditioned buildings in hot climates", D. Hawkes et al. (Eds.), Energy and Urban Built Form, Butterworths, UK (1987).

BİR KONUT BİNASI ÖRNEĞİNDE PV SİSTEMLERE İLİŞKİN ENERJİ PERFORMANS GÖSTERGELERİNİN HESAPLANMASI

Y.Mimar Suzi Dilara Mangan[a]
Prof.Dr. Gül Koçlar Oral[b]
İTÜ Mimarlık Fakültesi
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

ÖZET

Fosil yakıt kaynak kullanımını ve dolayısıyla da CO_2 salımını azaltabilmesinden ötürü hızlı bir büyüme gösteren fotovoltaik (PV) sistem, yenilenebilir enerji kaynağı güneşi kullanarak elektrik enerjisi üreten bir teknolojidir. Ancak, PV sistemin tüm yaşam döngüsü dikkate alındığında pek çok sistem bileşeninin üretimi için çok fazla miktarda enerji harcanmaktadır. Bu nedenle, PV sistem yaşam döngüsü enerji analizleri, yenilenemez fosil yakıt kullanımını esas alan teknolojilere karşı solar teknoloji kullanımına ilişkin çevresel potansiyelin incelenmesi ve değerlendirilmesi için önemli bir araçtır. Bu çalışma ile PV teknolojisine ilişkin çevresel etkinin ve dolayısıyla sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Türkiye'nin sıcak nemli iklim bölgesi temsili ili Antalya, ılımlı nemli iklim bölgesi temsili ili İstanbul ve soğuk iklim bölgesi temsili ili Erzurum'da yer aldığı kabul edilen bir konut binasının çatı ve cephe alanına uygulanmış PV sistemler için yapılan yaşam döngüsü enerji analizleri sunulmuştur. Bu çalışmada, her bir PV sistemin enerji performansının değerlendirilebilmesi amacıyla hem enerji geri ödeme süresi ve enerji getirisi faktörü gibi temel enerji göstergeleri hem de CO_2 salımı azaltım potansiyeli gibi çevresel göstergelerin dikkate alındığı yaşam döngüsü analizleri gerçekleştirilmiştir.

Anahtar sözcükler: Fotovoltaik sistemler, Yaşam döngüsü enerji analizi, Enerji ve çevresel göstergeler

ABSTRACT

Photovoltaic(PV) system is a technology for the production of electricity using renewable energy source of sun that is rapidly increasing through its capability to reduce the energy consumption from fossil-fuel sources and consequently to decrease the CO_2 emission. However, considering the whole life cycle of PV system, a great amount of energy during the manufacturing and assembly of the most of the system components is consumed. Thus, the life-cycle energy analysis of photovoltaic (PV) systems is an important tool to investigate and evaluate the environmental potential of using solar technologies versus especially the technologies based on non-renewable fossil fuel sources. This study aims to evaluate the environmental impact and therefore the sustainability of PV technology. The life-cycle energy analyses for roof-mounted PV system and PV facade system concerning a residential building which is assumed in Antalya, Istanbul and Erzurum, respectively representative cities of hot humid, temperate humid and cold climate zones of Turkey were presented. In this study, the life cycle analyses were carried out to evaluate the overall energy performance of each PV system in terms of both of basic energy indicators such as energy payback time and energy return factor and environmental indicator such as the potential for CO_2 emission.

Key words: Photovoltaic systems, Life cycle energy analysis, Energy and environmental indicators

[a] e-posta adresi: dilaramangan@yahoo.com
[b] e-posta adresi: gkoclaroral@gmail.com

1.GİRİŞ

Artan dünya nüfusunun enerji talebinin karşılanmasında öncelikli rol oynayan fosil yakıtların azalması, fosil yakıt tüketimine bağlı çevresel sorunların artış göstermesi ve yüksek enerji fiyatları, farklı yenilenebilir enerji kaynaklarının bulunması ve kullanılmasına yönelik küresel bir kabulun oluşmasına neden olmuştur. Yaşanılan bu enerji sorununun giderilmesi amacıyla ele alınan yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde güneş enerjisi, hem çevre açısından daha yararlı hem de sürdürülebilir kalkınma programlarının temel bir bileşeni olmasından ötürü diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla daha önemli bir yer tutmaktadır [**1**]. Son yıllarda, pek çok ülke, çevre korunumuna ilişkin düzenlenen yasalar ile küresel olarak zorunlu kılınan yükümlülükleri yerine getirebilmek ve Kyoto protokolünde belirtilen hedeflere ulaşabilmek amacıyla yenilebilir enerji teknolojilerinin kullanımını ve özellikle güneş enerjisini kullanarak elektrik enerjisi üreten fotovoltaik (PV) teknolojisini teşvik edecek politikalar geliştirmektedir [**2**]. 2003 yılından beri özellikle Avrupa'da PV teknolojisi kullanımına ilişkin yürütülen enerji politikaları ve tanımlanan teşvik programlarına bağlı olarak PV teknolojisinde hızlı bir gelişme yaşanmaktadır. 2012 yılı içerisinde 70GW'tan fazla kurulumun gerçekleştiği ve dünyanın toplam PV kapasitesinin %70'ini temsil eden Avrupa, dünyada toplam kurulu PV kapasitesi açısından lider konumdadır [**3**].

PV teknolojisinin sürdürülebilir enerji sistemine büyük oranda katkı sağlayabilecek bir potansiyele sahip olmasına ve dolayısıyla olası CO_2 salımlarını azaltabilmesine rağmen pek çok sistem bileşenlerinin üretimi evresinde çok fazla miktarda enerji harcanmaktadır. Harcanan bu enerji nedeniyle, PV teknolojisinin çevre üzerinde doğrudan (evre içerisinde salımlar) ya da dolaylı (üretim evresindeki fosil yakıt tüketimi) etkileri mevcuttur. Bu nedenle, PV sistemlerin çevresel sürdürülebilirliğinin doğru olarak değerlendirilebilmesi için tüm yaşam döngüsüne yönelik enerji analizlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. PV sistemlerin enerji performansının değerlendirilmesi amacıyla genellikle enerji geri ödeme süresi ve enerji getirisi faktörü gibi enerji göstergeleri ve CO_2 salımı azaltım potansiyeli gibi çevresel göstergeler kullanılmaktadır.

Enerji geri ödeme süresi ve enerji getirisi faktörü, kurulan PV sistemden elde edilen yıllık enerjinin PV sistemlerin üretim evresinde tüketilen enerjiye oranıdır. PV sistemler için üretim evresinde harcanan enerji coğrafik konuma göre büyük oranda değişmemesine rağmen PV sistemin kullanım evresinde üreteceği enerji miktarı coğrafik konuma göre değişen iklimsel koşullara (örn.güneş ışınımı ve yerel sıcaklık değerleri) bağlı olarak önemli farklılıklar göstermektedir. CO_2 salımı azaltım potansiyelinin hesaplanmasında ise, PV sistemlerden üretilen enerji değerine ek olarak enerji karşımı içerisindeki CO_2 değeri de dikkate alınmaktadır. Bu nedenle, PV sistemlerin enerji performansları ülke bazında değerlendirilmeli, farklı iklimsel koşulların mevcut olduğu ülkeler için ise PV sistemlerin en yüksek enerji üretebilme potansiyeline sahip olduğu iller dikkate alınmalıdır[**4**].

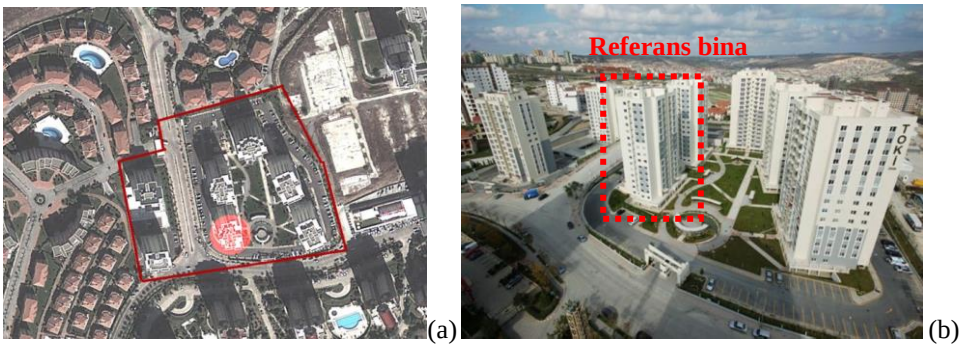
Bu bağlamda, yapılan bu çalışma ile Türkiye'de kurulu PV sistemlerden elde edilebilecek elektrik enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin sağlayacağı çevresel sürdürülebilirliğin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, ele alınan konut binasının, Türkiye'nin farklı güneşlenme süresi ve güneş ışınım şiddetine sahip sıcak nemli, ılımlı nemli ve soğuk iklim bölgelerinin temsili illeri sırasıyla Antalya, İstanbul ve Erzurum'da yer aldığı kabul edilmiştir. Farklı iklim bölgelerine yönelik konut binasının mevcut çatı ve cephe alanlarında optimum verimde çalışabilecek PV sistemler tasarlanmıştır. Bu iki PV sistem için gerçekleştirilen yaşam döngüsü analizleri çerçevesinde PV sistemlerin üretim ve kullanım evrelerine ilişkin enerji analizleri yapılmıştır. Enerji analizleri sonucunda PV sistemlerin enerji performansları, enerji geri

ödeme süresi, enerji getirisi faktörü ve CO_2 salımı azaltım potansiyeli açısından değerlendirilmiştir.

2. YÖNTEM

2.1. Bina Modeli

Bu çalışmada, TOKI tarafından "kaynak geliştirme uygulaması" adı altında 2008 yılında İstanbul'da yapımı tamamlanmış bir toplu konut projesi ele alınmıştır. Şekil 1'de genel görünümü verilen toplu konut projesinden bir blok referans bina olarak çalışma çerçevesinde irdelenmiştir.

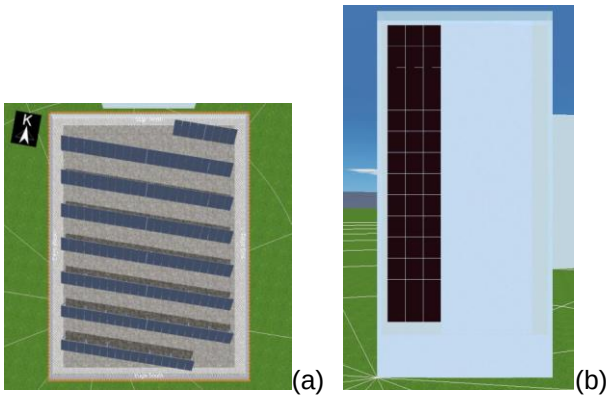


Şekil 1: Toplu konut projesinin uydu görüntüsü (a) ve genel görünümü(b)

Çalışma kapsamında ele alınan referans bina, 17 katlı bir yapı olup kat yüksekliği 2.79 m'dir. Çatı tipi yürünebilir teras çatıdır. Biçim faktörü (plandaki bina uzunluğu/bina derinliği) 1.37, A/V oranı (toplam dış yüzey alanı / bina hacmi) 0.19, taban alanı 573 m^2 ve toplam bina yüksekliği ise 48.28 m'dir. Saydamlık oranları (toplam saydam alan/toplam cephe alanı), kuzey, güney, doğu ve batı cepheleri için sırası ile %14, %15, %24 ve %30'dur.

2.2. PV Sistem Tanımı

Referans binanın teras çatı ve güney cephesi opak alanlarında şebekeye bağlı olduğu varsayılan PV sistemler tasarlanmıştır.
Teras çatı alanında tasarlanan PV sistemler için yüksek verimde çalışabilen kristal silisyum PV hücrelerinden tek kristalli silikon PV hücreler kullanılmıştır. Çalışma kapsamında ele alınan iklim bölgelerini temsil eden iller için teras çatı alanında kurulacak PV sisteme ilişkin optimum panel eğim açılarının belirlenmesi amacıyla analiz çalışmaları yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, PV paneller için belirlenmiş optimum eğim açıları Antalya için 32°, İstanbul için 31° ve Erzurum için ise 30°'dir. PV paneller güneye yönlendirilmiş ve panel dizilerinde gölgelenmeden kaynaklı kazanç kaybını %1'e indirecek mesafe aralıkları, panel dizileri arasındaki uygun gölgeleme mesafeleri olarak dikkate alınmıştır (**Şekil 2a**).
Güney cephesi opak alanlarında ise, verimin güneş ışınım yoğunluğuna bağımlılığının daha az olduğu ince film PV hücrelerinden şekilsiz (amorf) silikon PV hücreler kullanılmıştır. PV paneller, mevcut binanın güney cephesi opak alanına güneyden doğuya 9° sapma açısı (yüzey azimut açısı) ve 90° eğim açısı ile yerleştirilmiştir (**Şekil 2b).**
Çatı ve cephe alanında kullanılan PV modüllere ilişkin veriler, Çizelge 1'de belirtilmiştir.



Şekil 2: Teras çatı (a) ve güney cephesi opak(b) alanlarında tanımlı PV panellerin yerleşimi

Çizelge 1: Tanımlanan PV modüllere ilişkin veriler

Teknoloji	Uygulama Alanı	Güç (Wp)	Modül Verimi (%)	Uzunluk/Genişlik (mm)	Çerçeve
Tek kristalli silikon	çatı	190	14.9	1581/809	Aluminyum
Şekilsiz(amorf) silikon	cephe	340	5.9	2600/2200	-

2.3. Yaşam Döngüsü Enerji Analizi

PV sistemler için gerçekleştirilecek yaşam döngüsü enerji analizi, enerji girdisi ve enerji çıktısı kapsamında ele alınmıştır.

Enerji girdisi (E_{in}): PV sistem yaşam döngüsü süresince ihtiyaç duyulan toplam enerji miktarıdır. Ancak, PV sistemin üretimi için harcanan enerji miktarı (gömülü enerji), PV sistem yaşam döngüsü sürecindeki diğer evreler için ihtiyaç duyulan enerji miktarına kıyasla çok yüksektir. Genellikle çalışmalarda [**4 -7**] enerji girdisi (E_{in}) olarak PV sistemlerin gömülü enerji değerleri ele alınmakta olup bu çalışmada da PV sistemlere ilişkin gömülü enerji değerleri, diğer bir deyişle PV modüllerin üretimi (E_{PV}) ve diğer sistem bileşenlerinin üretimi (E_{BOS}) evresinde harcanan enerji miktarları dikkate alınmıştır. Diğer sistem bileşenleri kapsamında PV panelleri destekleyici alt strüktür, çevirici (invertör) ve kablolama ele alınmıştır. Gerekli olan enerji girdisi aşağıda belirtilen eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır [**8**]:

$$E_{in} = E_{PV} + E_{BOS} \quad (1)$$

Bu çalışmada PV modül ve diğer sistem bileşenlerine ilişkin enerji girdilerinin hesaplanmasında üretim evresinde harcanan toplam birincil enerjiyi ifade eden brüt enerji gereksinimleri dikkate alınmıştır. PV sisteme ilişkin brüt enerji gereksinimleri ve yaşam ömürleri, Çizelge 2'de belirtilmiştir.

Enerji çıktısı (E_{out}): PV sistemin yıllık ürettiği enerji miktarıdır. PV sistem ile üretilen enerji miktarı, güneş ışınımı, PV modül ve diğer sistem bileşenlerinin verimi gibi pek çok parametreye bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. PV sistem tasarımının doğru bir şekilde yapılabilmesi amacıyla PV sistemlerin tasarımına ve simülasyonlarına ilişkin geliştirilmiş araçlar

kullanılmalıdır. Bu çalışmada, üç boyutlu modelleme ve detaylı gölgeleme analizlerinin yapılabildiği dinamik simulasyon programı PV*SOL Expert 6.0 kullanılmıştır [**12**]. Tüm PV sistem bileşenleri (panel, çevirici vb.), üreticiler tarafından yayınlanmış performans verilerine dayalı elektriksel eşdeğerleri dikkate alınarak tanımlanmıştır.

Çizelge 2: PV modül ve diğer sistem bileşenlerine ilişkin brüt enerji gereksinimleri ve yaşam ömürleri [**8-11**]

Bileşen	Brüt enerji gereksinimi	Yaşam ömrü (yıl)
Tek kristalli silikon modül	3700 MJ/m² [**9**]	30 [**11**]
Şekilsiz (amorf) silikon modül	1889 MJ/m² [**10**]	30 [**11**]
Destekleyici strüktür+kablolama	100 MJ/m² [**8**]	30 [**11**]
Çevirici (invertör)	1930 MJ/kWp [**8**]	15 [**11**]

PV sistem ile üretilen enerji miktarının hesaplanmasında, eğimli PV panel yüzeyi üzerine düşen güneş ışınımı değerinin belirlenmesi çok önemlidir. Bu çalışmada, PV*SOL Expert programı aracılığı ile ele alınan illere ilişkin Meteonorm 7.0 veritabanından[**13**] elde dilen yatay düzlem ışınım verileri simülasyon süresince eğimli yüzey için dönüştürülmüş ve toplam aktif PV yüzey alanı ile çarpılarak PV sistemin üretebileceği enerji miktarı hesaplanmıştır. Bu çalışma için tanımlanan her iki PV sisteme ilişkin performans verileri, Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3: Tanımlanan PV sistemlere ilişkin performans verileri

İl	Teras Çatı PV sistemleri			Güney cephesi PV sistemleri		
	PV kurulu gücü (PV_{out}) (kWp)	PV yüzey alanı (m²)	Performans oranı (%)	PV kurulu gücü (PV_{out})(kWp)	PV yüzey alanı (m²)	Performans oranı (%)
Antalya	29.83	201.06	84.10	14.28	258.19	84.50
İstanbul	29.26	197.22	85.20	14.28	258.19	84.30
Erzurum	29.64	199.78	85.00	14.28	258.19	84.70

Çalışma kapsamında, PV sistemin yaşam ömrü 30 yıl olarak dikkate alınmıştır [**11**]. Tanımlanan bu yaşam ömrü içerisinde PV modüllerin performansında oluşabilecek yıllık azalma (degradasyon) değerleri ilk on yıl boyunca %1, geri kalan yıllar için ise %0.5 olarak alınmıştır [**14**].

2.4. Enerji Performans Göstergelerinin Hesaplanması

Bu çalışmada, PV sistemlerin enerji performansı, enerji göstergeleri ve çevresel göstergeler dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Enerji göstergeleri olarak enerji geri ödeme süresi ve enerji getirisi faktörü, çevresel gösterge olarak ise CO_2 salımı azaltım potansiyeli kullanılmıştır.

Enerji geri ödeme süresi (Energy payback time (EPBT)): PV sistem yaşam döngüsü süresince harcanan toplam enerji mikatrının (E_{in}) kullanım evresi boyunca üretilen yıllık enerji miktarına (E_{out}) oranıdır ve yıl olarak ifade edilir [**15, 4**]. EPBT, aşağıda belirtilen eşitlik yardımı ile hesaplanır [**9**]:

$$EPBT = \frac{E_{in}}{E_{out}} \quad (2)$$

Enerji getirisi faktörü (Energy return factor (ERF)): PV sistem kullanım evresi süresince üretilen enerji miktarının (E_{out}) yaşam döngüsü boyunca harcanan toplam enerji miktarına (E_{in}) oranıdır ve birimsizdir [**15, 4**]. ERF, aşağıda belirtilen eşitlik yardımı ile hesaplanır [**9**]:

$$ERF = \frac{E_{out} \times N}{E_{in}} = \frac{N}{EPBT} \quad (3)$$

N : PV sistem yaşam ömrü

Bu çalışmada, EPBT ve ERF göstergeleri ile PV sistemin üretim evresinde harcanan enerji ile kullanım evresinde üretilen enerji miktarı arasındaki denge ifade edilmektedir. PV sistemin kullanım evresinde üretilen yıllık enerji miktarı ile üretim evresinde gereksinim duyulan enerjinin kıyaslanabilmesi amacıyla her iki enerji türünün birincil enerji ya da nihai enerji cinsinden belirtilmesi gerekmektedir. Enerji değerlerinin aynı enerji cinsinden ifade edilebilmesi için şebeke verimlilik değeri kullanılmalıdır. Türkiye için hesaplanmış bir şebeke verimlilik değerine ulaşılamaması nedeni ile Kıta Avrupası elektrik şebekesi için belirlenmiş şebeke verimlilik değeri(%31) dikkate alınmıştır [**16, 4**].

CO_2 salımı azaltım potansiyeli: PV sistem kullanımı ile önlenebilen seragazı salım miktarıdır. Birimi ise kurulu PV güç başına ton CO_2 salımıdır (tCO_2/kWp). CO_2 salımı azaltım potansiyeli, aşağıda belirtilen eşitlik yardımı ile hesaplanır [**9**]:

$$P_{CO2} = \frac{E_{out} \times \mu_{out} \times N}{PV_{out}} \quad (4)$$

P_{CO2} *:* CO_2 salımı azaltım potansiyeli (tCO_2/kWp)
E_{out} *:* PV sistem tarafından üretilen enerji (kWh)
μ_{out} *:* PV sistem tarafından üretilen enerji ile önlenilen CO_2 salım faktörü (tCO_2/kWh)
PV_{out} *:* PV sistem kurulu gücü (kWp)

Yukarıdaki eşitlikte belirtilen μ_{out}'a ilişkin değer, Entegre Sistemler için Küresel Emisyon Modeli (Global Emission Model for Integrated Systems(GEMIS)) veritabanından alınmıştır [**17**]. Çalışma kapsamında farklı iklim bölgelerinin temsili illerinde kurulu olduğu varsayılan her iki PV sisteme ilişkin hesaplanmış enerji geri ödeme süresi, enerji getirisi faktörü ve CO_2 salımı azaltım potansiyel değerleri, Çizelge 4 ve 5'te belirtilmiştir.

Çizelge 4: Teras çatı PV sistemlerine ilişkin hesaplanmış enerji ve çevresel gösterge değerleri

İl	E_{in} (kWh)	E_{out} (kWh/y)	EPBT (yıl)	ERF	P_{CO2} (tCO_2/kWp)
Antalya	244,214	51,009	4.8	18.0	40.5
İstanbul	239,550	46,377	5.2	16.7	37.5
Erzurum	242,660	42,859	5.7	15.2	34.2

Çizelge 5: Güney cephesi PV sistemlerine ilişkin hesaplanmış enerji ve çevresel gösterge değerleri

İl	E_{in} (kWh)	E_{out} (kWh/y)	EPBT (yıl)	ERF	P_{CO2} (tCO_2/kWp)
Antalya	157,961	15,351	10.3	8.4	25.4
İstanbul	157,961	13,989	11.3	7.6	23.2
Erzurum	157,961	12,969	12.2	7.1	21.5

Çizelge 4 ve 5'te görüldüğü üzere, enerji ve çevresel göstergeler açısından cephe alanında şekilsiz (amorf) silikon paneller ile oluşturulan PV sisteme kıyasla, çatı alanında tek kristalli silikon paneller kullanılarak kurulan PV sistem ile daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Çatı alanında kurulu PV sistemin üretim evresi enerji girdisinin, cephe alanında kurulu PV sisteme kıyasla yaklaşık 1.5 kat daha fazla olmasına rağmen yıllık enerji çıktısının yüksek düzeyde olması nedeni ile enerji performans göstergeleri açısından teras çatı alanında kurulu PV sistem ile daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Antalya, İstanbul ve Erzurum'da kurulu olduğu varsayılan PV sistemler için gerçekleştirilen yaşam döngüsü enerji analizleri sonucunda, her iki PV sistemin üretim evresinde harcanan enerjiyi (E_{in}) 30 yıl olarak dikkate alınan sistem ömrü içerisinde geri ödeyebildiği belirlenmiştir. Çatı alanında kurulu PV sisteme ilişkin enerji geri ödeme süresi Antalya için 4.8 yıl, İstanbul için 5.2 yıl, Erzurum için ise 5.7 yıldır. Cephe alanında kurulu PV sistem için ise, en düşük enerji geri ödeme süresi Antalya'da 10.3 yıl, en yüksek enerji geri ödeme süresi ise Erzurum'da 12.2 yıl olarak hesaplanmıştır. Enerji getirisi faktörü açısından PV sistemlerin performansları değerlendirildiğinde, çatı alanında kurulu PV sistemler ile bu sistemlerin üretimi için harcanan enerjinin Antalya'da, İstanbul'da ve Erzurum'da sırasıyla 18.0, 16.7 ve 15.2 kat daha fazlasının 30 yıllık kullanım evresi süresince üretilebildiği belirlenmiştir. Cephe alanında kurulu PV sistemlere ilişkin ise, Antalya'da, İstanbul'da ve Erzurum'da 30 yıllık kullanım süresince üretilen enerji, bu sistemlerin üretimi için harcanan enerjinin sırasıyla 8.4, 7.6 ve 7.1 kat daha fazlasıdır. Ele alınan iller kapsamında, PV sistemlerden üretilen enerji ile çatı alanında kWp başına 40.5- 34.2 tCO_2, cephe alanında ise kWp başına 25.4-21.5 tCO_2 arasında değişim gösteren CO_2 salımı azaltım potansiyeli hesaplanmıştır.

3. SONUÇLAR

Binalarda enerji tüketimine bağlı çevresel etkilerin çok yüksek boyutlara ulaşması nedeni ile sürdürülebilir enerji kullanımına katkı sağlayabilecek yenilenebilir enerji teknolojilerine ilişkin performans değerlendirmeleri, tasarım aşamasında büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, Türkiye'nin coğrafik konumundan ötürü sahip olduğu yüksek güneş enerjisi potansiyeli göz önünde bulundurularak PV teknolojisi kullanımına ilişkin çevresel potansiyel değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, farklı güneşlenme süresi ve güneş ışınımı verilerinin mevcut olduğu sıcak nemli, ılımlı nemli ve soğuk iklim bölgelerinin temsili illeri sırasıyla Antalya, İstanbul ve Erzurum'da yer aldığı varsayılan bir konut binasının çatı ve cephe alanlarında kurulu PV sistemler için yaşam döngüsü enerji analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, ele alınan tüm iller için her iki PV sistemin kullanım evresi süresince üretim evresinde gereksinim duyulan enerjiden daha fazlasını üretebildiği belirlenmiştir. Ayrıca, kWp başına cephede 25 tCO_2'e, çatı alanında ise 40.5 tCO_2'e kadar CO_2 salım azaltımı potansiyelinin mevcut olduğu hesaplanmıştır. Dolayısıyla, PV sistemlerin enerji potansiyelinin ve buna paralel çevresel potansiyelinin çalışma kapsamında ele alınan iklim bölgeleri için yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu kapsamda Türkiye, enerji ve çevre alanında izlediği politikaların sürdürülebilirliğini sağlamak, düşük karbon ekonomisi hedefine ulaşmak ve artan enerji talebini karşılamada dışa

bağımlılık oranını azaltmak amacıyla yüksek güneş enerjisi potansiyelini çok iyi kullanmalıdır. PV sistem kurulumunda lider pek çok Avrupa ülkesinden daha yüksek güneş enerjisi potansiyele sahip olmasına rağmen Türkiye'de PV sistem kurulumu çok yavaş ilerlemektedir. Bu nedenle, PV sistemlerin kurulumunda süregelen engellerin aşılması amacıyla öncelikli olarak konu ile ilişkili yasal düzenlemelerin, ulusal eylem planlarının ve teşvik mekanizmalarının geliştirilmesi gereklidir. Ayrıca, PV sistemlerin binalara entegre edilmesini ve binaların enerji üreten sistem bileşenlerine dönüştürülmesini dikkate alan bütüncül yaklaşımların kapsamlı olarak değerlendirilmesi ile enerji tüketimine bağlı çevresel etkilerin minimize edilmesi, enerji maliyetlerinin azalması ve böylelikle ülke ekonomisine önemli bir katkı sağlanması da mümkündür.

KAYNAKLAR

1. Q., Wang, H.N., Qiu, "Situation and outlook of solar energy utilization in Tibet, China," *Renewable and Sustainable Energy Reviews.***13**, (2009), pp: 2181–2186.

2. A.F., Sherwani, J.A., Usmani and Varun, "Life cycle assessment of solar PV based electricity generation systems: a review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.**14**, (2010), pp: 540–544.

3. European Photovoltaic Industry Association (EPIA), "Global market outlook for photovoltaics 2013-2017".

4. International Energy Agency (IEA), "Compared assessment of selected environmental indicators of photovoltaic electricity in OECD cities," Photovoltaic power systems programme, Report IEA-PVPS-T10-02:2006, (2006).

5. E.A., Alsema, "Energy payback time and CO2 emissions of PV systems" Chap. IV-2 in *Practical Handbook of Photovoltaics*, (2012).

6. I., Nawaz, G.N., Tiwari, "Embodied energy analysis of photovoltaic (PV) system based on macro and micro level," *Energy Policy*. **34**, (2006), pp:3144-3152.

7. R., Sharma, G.N., Tiwari, "Life cycle assessment of stand alone photovoltaic (SAPV) system under on field conditions of New Delhi, India," *Energy Policy*. **63**, (2013), pp:272-282.

8. E.A., Alsema, M.J., de Wild-Scholten, "Environmental impacts of crystalline silicon photovoltaic module production," *13th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering*, Leuven, (2006).

9. E.A., Alsema, M.J., de Wild-Scholten, "Reduction of the environmental impacts in crystalline silicon module manufacturing," *22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Milan, (2007).

10. E., Alsema, "Energy requirements of thin-film solar cell modules-a review," *Renewable and Sustainable energy reviews*.**2**, (1998), pp:387-415.

11. International Energy Agency (IEA), "Methodology guidelines on life cycle assessment of photovoltaic electricity," Photovoltaic power systems programme, Report IEA-PVPS-T12-01:2009, (2009).

12. PV*SOL Expert software, "User manual of PV*SOL Expert 6.0," < http://www.valentin-software.com/en/products/photovoltaics/12/pvsol-expert >.

13. Meteonorm software, "User manual of Meteonorm 7.0," < http://meteonorm.com/products/meteonorm-software/>.

14. J., Coello, "Degradation of crystalline silicon modules: a case study on 785 samples after two years under operation," *26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*, Hamburg, Germany, (2011).

15. E.A., Alsema, E., Nieuwlaar, "Energy viability of photovoltaic systems," *Energy Policy*.**28**,(2000), pp:999-1010.

16. E.A., Alsema, M.J., de Wild-Scholten, "The real environmental impacts of crystalline silicon PV modules : an analysis based on up-to-date manufacturers data," *20th European PV Solar Conference*, Barcelona, (2005).

17. Global Emission Model for Integrated Systems (GEMIS). < http://www.iinas.org/gemis-de.html>

MİMARLIK EĞİTİMİNDE ENERJİ ETKİN TASARIM

Prof. Dr. Gül Koçlar Oral [a]
Prof. Dr. Alpin Köknel Yener [b]
İTÜ Mimarlık Fakültesi
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

ÖZET

Binaların enerji etkin sistemler olarak tasarlanması, tasarım parametreleri için en uygun değerlerin belirlenmesi sürecini kapsamaktadır. Isıtma, iklimlendirme ve aydınlatma gibi aktif sistemlerin görev paylarını minimize etmek ve enerji kaynaklarını etkin kullanmak amacıyla bu parametreler için doğru değerlerin belirlenmesi gerekmektedir. Enerji Etkin Konut Tasarımı adlı seçime bağlı ders, yapı fiziği konularını kapsayan Çevre Kontrolü Stüdyosu dersini alarak bu konuları öğrenmiş olan öğrencilere binaları pasif ısıtma – iklimlendirme ve doğal aydınlatma sistemleri olarak enerji etkin biçimde tasarlama ilkelerini öğretmeyi hedeflemektedir. Bu bildiride, çıktı olarak enerji etkin bir konut projesinin hedeflendiği seçime bağlı bu ders kapsamında yapılan çalışmalar ele alınmakta, dersin içeriği ve elde edilen çıktılar açıklanarak örnekler verilmektedir.

Anahtar sözcükler: enerji etkin tasarım, mimarlık eğitimi

ABSTRACT

Energy efficient building design covers the process of determining the adequate values for design parameters. In order to minimize the role of active heating-ventilating and lighting systems and efficient use of energy sources the values of the design parameters should be determined precisely. The aim of the elective course Energy Efficient Housing is teaching the principles of designing buildings as energy efficient passive heating-ventilating and daylighting systems. The course is related for students, who have taken the Environmental Control Studio and learned the main principles of building physics subjects. In this study the content of this elective course, which aims the design of an energy efficient house is described, outputs are explained and examples are given.

Key words: Energy efficient design, architectural education

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

1. GİRİŞ

Günümüzde mimarlık alanı, topluma karşı sorumlu en önemli alanlardan biri olarak görülmektedir. Meslek alanında başarının ilk adımının iyi bir üniversite eğitimi olduğu düşünülürse, mimarlık mesleğinin uygulamada başarısını arttırmak için mimarlık eğitimin güncel konuları ele alan yeni yaklaşımları benimseyen bir yapıda geliştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Mimar, çevre koşullarını kabullenme yerine aktif girişimleri ile o koşulları denetlemeyi kendi yaptığı öğeleri ve emeğini katarak çevresini değiştirmeyi, düzenlemeyi, yeni yapma çevreler oluşturmayı amaçlamaktadır. Diğer bir deyişle, insanın yaşamını sürdürmesi için gerekli olan mimarlık eyleminin sonucunda ortaya çıkan "yapma çevre" yaratılmış, düzenli bir çaba ürünüdür. Sağlıklı, konforlu, güvenli ve sürdürülebilir bir yapma çevre, günümüzde tasarım kararlarını etkileyen en önemli etkenlerden biridir. Mimarlıkta yapma çevre tasarımının hedefi, insanların sınırsız ihtiyaç ve isteklerini karşılarken aynı zamanda insanlığın ve doğanın devamını sağlamak olmalıdır.

Mimarlar, güncel çevre sorunları karşısında, konforlu bir yapma çevre tasarlarken, sonraki kuşaklara yaşanabilir bir dünya bırakmak ve çevre kirliliğini önleyerek, enerji kaynaklarını verimli kullanan binaları gerçekleştirmek konusunda rol oynayan en önemli aktörlerdir. Bu açıdan çağımızın en önemli gereksinmeleri olan sürdürülebilirlik ve enerji etkin tasarım konularında mimarların toplumsal sorumluluğu ön plana çıkmakta ve mimarların bu tür konularda toplumun her kesimine hizmet vermesi önem taşımaktadır **[1, 2]**. Yaşam kalitesini sağlamak ve sürdürülebilir bir gelecek için temel gereksinim olan enerjinin en yoğun kullanıldığı alanlardan biri de mimari uygulamalardır. Yapma çevre gereksiniminin karşılanması sonucu ortaya çıkan yapılaşma ve enerji tüketimindeki artışın birbiriyle paralellik göstermekte olduğu gözlenmektedir. Bu nedenle enerji, çevresel ve ekonomik boyutları açısından mimaride sürdürülebilir çevre bağlamında vazgeçilmez bir öğedir.

Küreselleşen dünyada çevre ve enerji sorunları ve bu sorunların çözümünde en etkin yol olan sürdürülebilir çevre anlayışı, sürdürülebilir enerji kavramını güncel hale getirmektedir. Sürdürülebilir enerji kavramı, ihtiyaç duyulan enerjinin minimum maliyetle sürekli olarak sağlanabilmesi için kullanılacak teknoloji ve yöntemlerin tümü olarak tanımlanabilir. Binalarda sürdürülebilir enerji sağlamanın temel ilkeleri; binalarda enerjinin verimli kullanılması ve enerji tasarrufunun sağlanması, binalarda fosil yakıt tüketiminin minimize edilmesi ve çevre kirliliğinin önlenmesi, yenilenebilir kaynakların optimum kullanımını sağlayan binaların diğer bir deyişle enerji etkin binaların tasarlanmasıdır. Enerji etkin tasarıma olan eğilim, çevre sorunlarının çözümünde ortaya çıkan doğal ve çağdaş bir sonuç olup, bu yaklaşımıyla mimarlık, sürdürülebilir çevre bilincinin topluma iletilmesinde de önemli bir rol oynamaktadır. Enerji etkin tasarım eğitiminde hedef, mimarın eğitim sürecinde ele alınan çevre duyarlı tasarım bilinci ile bağlantılı olarak, enerji ve çevre sorunları karşısında, görsel malzemeler, araştırma raporları, seminerler, bireysel kritik, eleştiri, tartışma yolu ile birlikte çözüm arama, denenmiş ve denenmemiş detaylardan yola çıkarak yeni bilgi üretebilme düşüncesinin geliştirilmesidir. Tasarım sürecinde öğrencinin etkin konumda olmasını sağlayacak bir süreç benimsenmektedir.

2. ENERJİ ETKİN BİNA TASARIMI YAKLAŞIMI

İnsanoğlu öğrenmeye hazır doğası gereği, en büyük gereksinimi olan barınma ve güvenlik sorununu çözmek için, var olduğundan itibaren yaşadığı yerleri doğa ve iklim koşullarına göre şekillendirmiştir. Barınma ihtiyacının karşılanması için teknolojinin gelişimi ile sağlanan yapının imalatı, kullanımı ve ömrünü tüketmesine kadar yapılan işlemler her aşamada ekosistemi doğrudan etkilemekte ve binaların yaşam döngüsünün her aşamasında enerji tüketilmektedir. Yapılaşmanın doğa üzerinde olumsuz etkilerinin azaltılması, insan nüfusuna paralel olarak artan barınma ihtiyacının, doğal döngüleri değiştirmeden ve doğal olanakların sınırları göz önüne alınarak karşılanması ve insanla doğa arasında uyumu sağlamakla olanaklıdır.

Teknolojinin henüz gelişmediği dönemlerde başta güneş enerjisi olmak üzere doğal enerji kaynaklarından en üst düzeyde yararlanma önem taşımıştır. İnsanoğlu, enerji üretmeyi, depolamayı ve nakletmeyi öğrenerek yaptığı yapılarla doğaya karşı mücadele vermeye çalışmıştır. Gelişen teknolojiye bağlı olarak üretilen enerji büyük bir savurganlıkla kullanılarak giderek azalmıştır. Zamanla tüketilen kaynakların sınırlı olduğu anlaşılmıştır. Böylece enerjinin verimli kullanılması gerektiği benimsenerek yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına yönelim artmıştır.

Enerji etkin tasarım çevresel stratejilerin mimariye aktarımı ve iklimle dengeli mimari anlayışı ile gelişmiştir. İklim ve mimarlığın ilişkisini kuran ve bu konuda 20. yüzyılın önemli isimlerinden Olgyay, geliştirdiği model ile mimarlık iklim ve konfor koşullarının iç içe olan ilişkisini ortaya koymuştur **[3].** Enerji etkin bina tasarımında amaç, doğal kaynaklardan optimum yararlanan enerji korunumlu binalar aracılığı ile sürdürülebilir bir çevre yaratmaktır. Binaların yüklendiği başlıca işlevler arasında, pasif ısıtma-iklimlendirme, doğal aydınlatma işlevlerine değinmek olanaklıdır. Bu tür işlevleri yüklenmelerinden ötürü binalar gerek pasif ısıtma ve iklimlendirme ve gerekse doğal aydınlatma sistemleri olma niteliklerini de kazanmaktadırlar. Bu işlevleri optimal düzeyde yerine getiren binalar iklim ve doğal ışık kontrolünde (yararlanma ve koruma) optimal performans göstererek enerji tüketiminin minimize edilmesini olanaklı kılarlar.

Dış çevresel koşullara bağlı olarak herhangi bir binanın içerisinde iklimsel ve görsel konforun ek yapma enerji sistemlerine en az gereksinme duyularak gerçekleştirilebilmesi için, mimarın denetiminde olan tasarım değişkenlerinin diğer bir deyişle binaya ilişkin tasarım parametrelerinin, uygun değerlere sahip olmaları gerekmektedir. Bu parametreler,

- Binanın bulunduğu yer
- Bina aralıkları
- Binanın yönlendiriliş durumu
- Bina formu
- Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri
- Doğal aydınlatma sistemi
- Güneş kontrolü sistemi
- Doğal havalandırma sistemi

olarak ele alınabilmektedir.

Binaların enerji etkin sistemler olarak tasarlanması, yukarıda sıralanan tasarım parametreleri için en uygun değerlerin belirlenmesi sürecini kapsamaktadır. Bu parametreler için doğru değerlerin

belirlenmesi ile yapma (aktif) ısıtma, iklimlendirme ve aydınlatma sistemlerinin görev payları minimize edilerek, enerjinin etkin kullanımı gerçekleştirilebilecektir.

3. MIM 335E ENERJİ ETKİN KONUT TASARIMI DERSİ ÖRNEĞİ

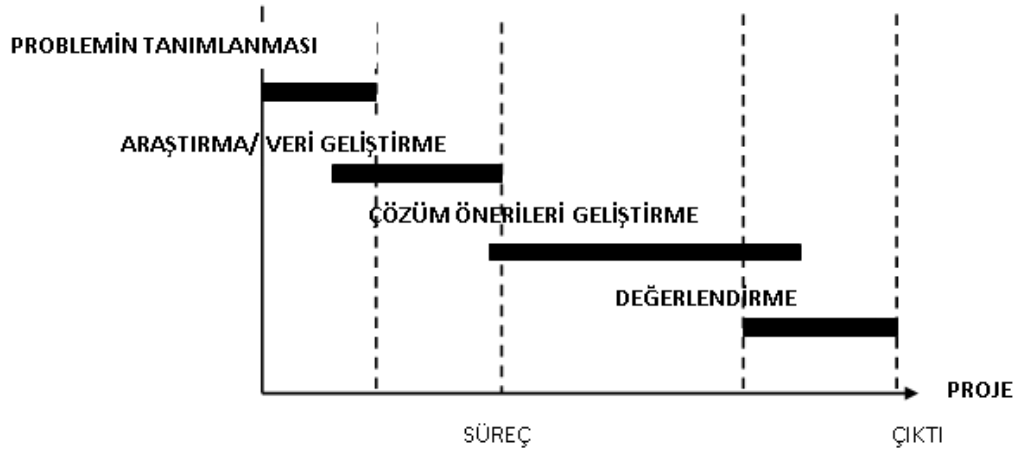
İTÜ Mimarlık Fakültesi, 1997 yılında eğitim programında yeniden yapılanma ile birlikte stüdyo ve proje odaklı bir mimarlık eğitimi anlayışını benimsemiştir. Bu yeniden yapılanmanın bir sonucu olarak, Pasif İklimlendirme, Aydınlatma, Isıtma-Havalandırma, gibi önceden ayrı ayrı verilen yapı fiziği alanındaki dersler bir stüdyo şeklinde birleştirilip kapsamı da genişletilerek Çevre Kontrolü Stüdyosu adı altında verilmektedir. İTÜ'de halen değişen koşullara bağlı olarak kendini yenileyen bu program, mimarlık eğitiminde, güçlü iletişim, disiplinler arası ders ve proje yapımı, proje odaklı çalışma modelini ön plana taşımıştır. Uygulamada birçok işlemsel sorun çıkmasına karşın günümüzde bu ilkelerin yaşama geçmesi akreditasyon kurumlarının çoğu kriterini karşılayan bir program strüktürünü ortaya çıkarmıştır **[4].** Bu yaklaşımı temel alarak Enerji Etkin Konut Tasarımı adlı seçime bağlı ders, yapı fiziği konularını kapsayan Çevre Kontrolü Stüdyosu dersini alarak bu konuları öğrenmiş olan öğrencilere binaların pasif ısıtma – iklimlendirme ve doğal aydınlatma sistemleri olarak enerji etkin biçimde tasarlama ilkelerini öğretmeyi hedeflemektedir. Dersin önemli bir çıktısı enerji etkin bir konutu hedefleyen bir proje sunumudur.

Enerji Etkin Konut (MIM 335E Energy Efficient Housing) adlı bu ders İngilizce olarak verilmekte ve her yıl giderek artan bir sayı ile ERASMUS öğrencileri tarafından da alınmaktadır. Bu durum, derse konu alanı ile ilgili olarak farklı ülkelerdeki örnekler, kültürel ve sosyal etkiler, farklı bakış açısı ve deneyimi de tartışma olanağı katarak veri akışında zenginlik yaratmaktadır.

Dersin yaklaşımı projeyi temel alan bir öğrenim sistemidir. Genel olarak tanımlanan problemin bir incelemeye bağlı olarak belirlenmesi, derlenen bilgilerden yararlanarak çözüm önerilerinin geliştirilmesi, beklenen ürünün bir proje olarak ortaya konulmasını ve çıktının tartışılmasını kapsamaktadır. Bu amaçla öğrencilerden, proje çalışmasının yapılmasını sağlayacak çok sayıda görev, ödev, araştırma çalışması yapması ve araştırma, sorgulama yaptığı bilgileri kullanması beklenmektedir. Ayrıca öğrencinin geliştirdiği bilgileri ön tasarım ve tasarım süreçlerinde yazılı, sözlü, grafiksel anlatım ve benzetim modelleriyle sunması beklenmektedir. Araştırma ve proje sonuçlarının sunumlar ve sınıf ölçeğinde değerlendirme ve tartışmalar yapılarak işbirliği teşvik edilmeye çalışılmaktadır.

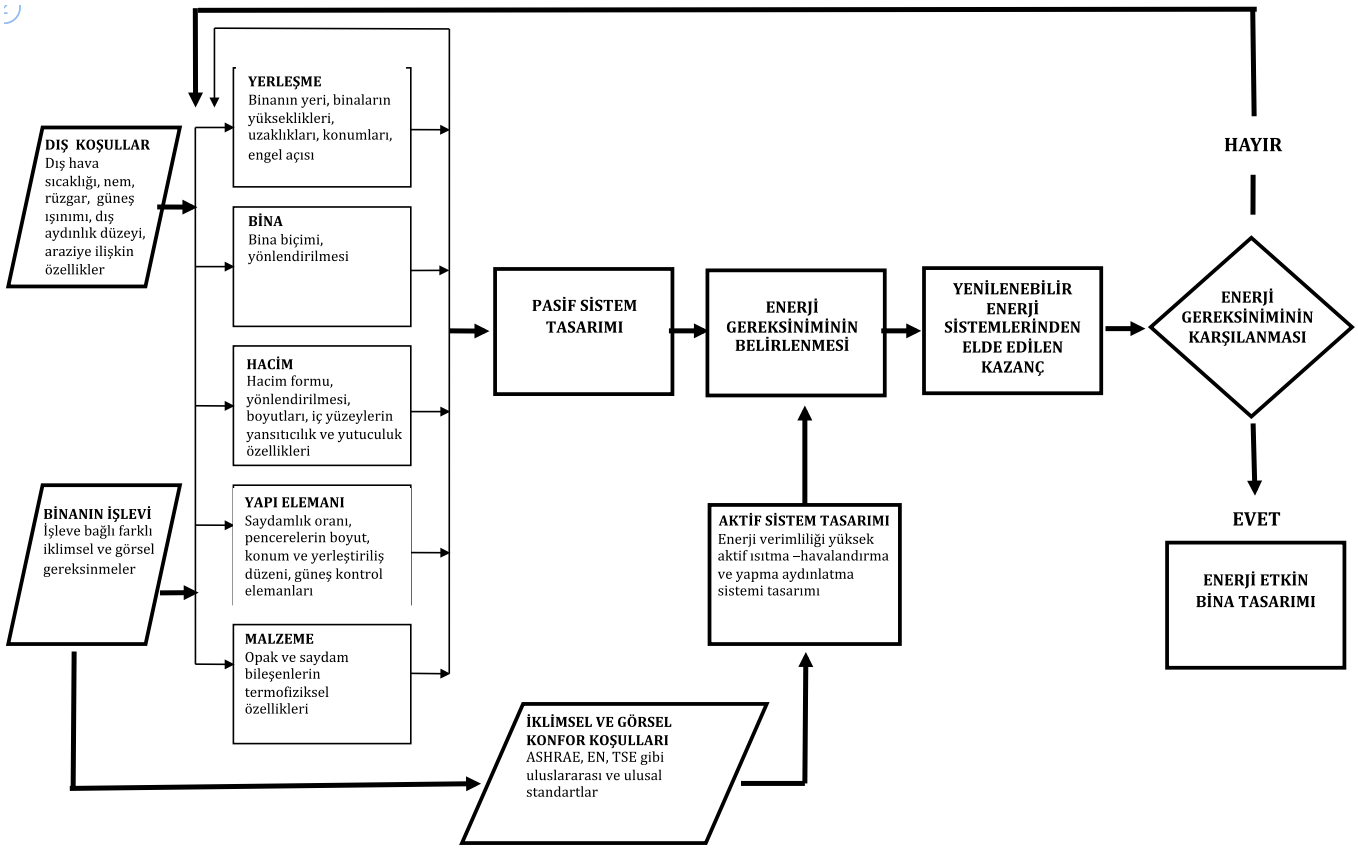
Enerji Etkin Konut (MIM 335E Energy Efficient Housing) dersinin öğrenciye, enerji etkin konut tasarımının ilkelerini kavrama ve mimari projelerde uygulayabilme becerisini kazandırması hedeflenmektedir. Bu hedef doğrultusunda dersin son 3 haftası stüdyo çalışması olarak yapılmaktadır. Stüdyo çalışması, geleneksel ve güncel yaklaşımların irdelenmesi, karşılıklı bilgi paylaşımı, tartışma, ve seminerler, çözüm aramada birlikte çalışma yolu ile yeni arayışlara olanak verme, öğrencinin özgür bırakılarak, yeni çözüm ve detay üretebilme becerisinin geliştirilmesini hedeflemektedir. Bir başka deyişle, öğrenciyi etkin duruma getirerek, ortaya konabilecek çıktılara ulaşmaktır. Uygulama konusu aktif, pasif veya her ikisinin birlikte kullanıldığı karma sistemler aracılığı ile öğrenci tarafından enerji etkin bir konutun ön tasarımının gerçekleştirilmesinin sağlanmasıdır.

Stüdyoda ele alınan enerji etkin bina tasarım süreci, aşağıdaki adımları içermektedir (**Şekil 1**):
problem tanımlama: konuya ilişkin problemin tanımlanması, bilgi aktarımı, tartışma
araştırma /veri geliştirme : konuya ilişkin geleneksel ve çağdaş örneklerin araştırılması, bilgilerin sunumu, tartışma, projenin tanımlanması (iklim türü, yer, arazi koşulları, ihtiyaç programı belirleme.
çözüm önerilerinin geliştirilmesi: tasarım parametreleri için uygun değerlerin belirlenmesi, tasarım parametreleri için belirlenen değerlere bağlı olarak bina modelinin
kurulması (proje hazırlanması)
değerlendirme : modelin değerlendirilmesi, uygun model seçimi.



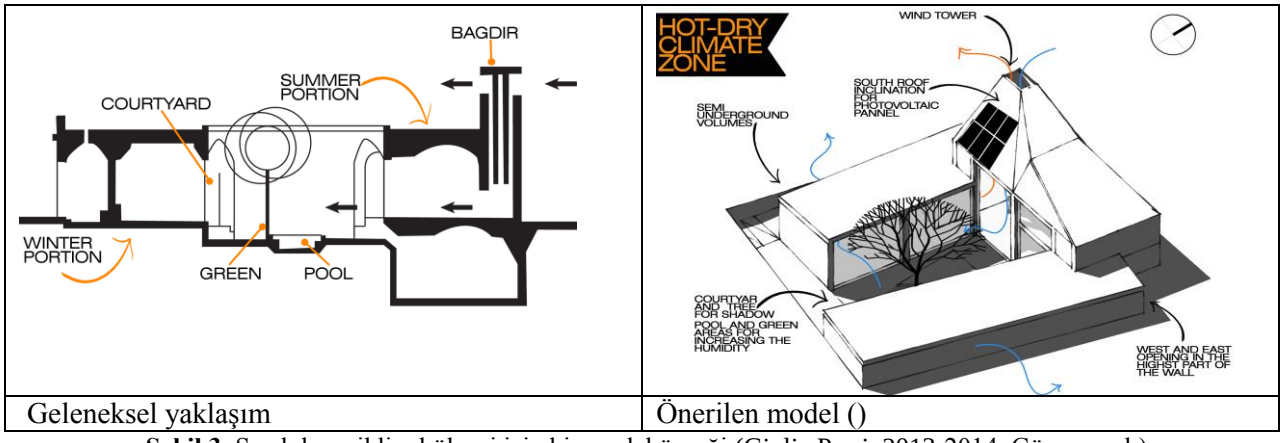
Şekil 1. Tasarım Süreci

Binaların enerji verimliliğinde etkin binalar olarak tanımlanması ve değerlendirilmesi binaya ilişkin tasarım parametreleri için uygun değerler kombinasyonları ile yapılabilir. Binanın tüm işlevleri açısından tasarım parametreleri için uygun değerler kombinasyonları belirlendikten sonra, bina modelinin kurulması ve değerlendirilmesi gerçekleştirilmelidir. Burada değerlendirme süreci, tasarım sürecinin bir alt süreci olarak ele alınmalıdır. Bu tür bir değerlendirme, kesin proje aşamasında, enerji etkin binaların gerçekleştirilmesi için doğru kararların alınması açısından önem taşımaktadır. Değerlendirme sonucunda binanın enerji korunumu açısından istenen performansı gösterdiği sonucuna varılırsa kesin proje aşamasına geçilebilir. Aksi takdirde, binaya ilişkin tasarım parametre değerlerinin hangisinde düzeltme yapılacağına karar verilmesi ve istenen performans sağlanana kadar düzeltme işleminin tekrarlanması gerekmektedir. Bu aşamada bina simülasyon programlarından yararlanılması konusunda tanıtıcı bilgiler öğrencilere aktarılarak ilgi duyan öğrencilerin bu programları kullanarak değerlendirme yapmaları teşvik edilmektedir. Binaların, iklimsel ve görsel konfor koşullarının sağlanması için gereksinim duyduğu enerjinin minimize edilmesi ve olabildiğince yenilenebilir enerji sistemlerinden elde edilmesiyle çevre bilinci ve sürdürülebilirlik kriterleriyle uyumlu "Enerji Etkin Bina Tasarımı" gerçekleştirilebilecektir. Bu sürecin ele alınış biçimi **Şekil 2**'de verilen akış şemasında görülmektedir



Şekil 2. Enerji etkin bina tasarımı süreci

Yukarıda açıklanan tasarım süreci sonucunda çıktı olarak enerji etkin bir bina modeli sunulmaktadır. Dersin proje çıktısı olarak sunulan modellere bazı öğrenci çalışmalarından örnekler verilmiştir. **Şekil 3**'te sıcak kuru iklim bölgesi için geleneksel yaklaşımlardan yola çıkılarak tasarlanmış bir model sunulmaktadır. Bina modeli sıcak kuru iklim bölgesinin karakteristik formu olan avlulu formdan oluşmaktadır. Geleneksel yaklaşımda çok sık kullanılan rüzgar kuleleri bu modelde farklı bir yorumla ele alınmış, binada güneş panelleri kullanılarak rüzgar ve güneş enerjisinin etkilerinde optimizasyon sağlanması hedeflenmiştir.



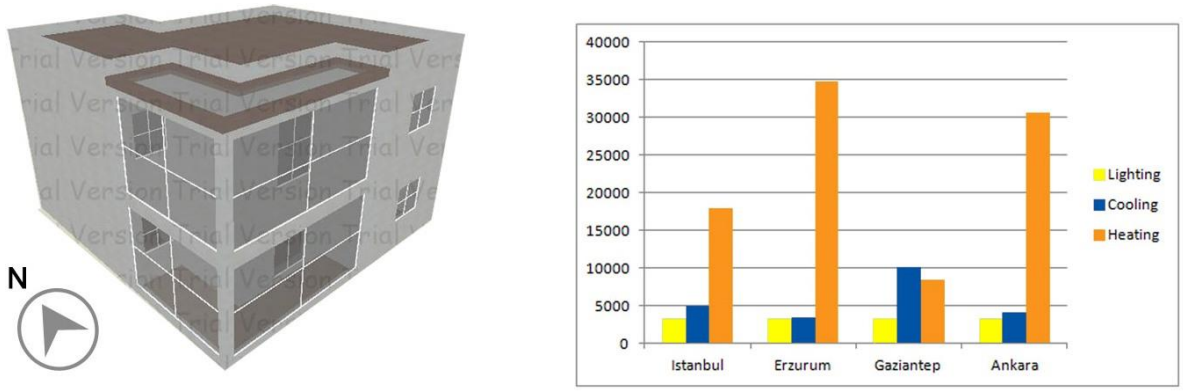
Geleneksel yaklaşım	Önerilen model ()

Şekil 3. Sıcak kuru iklim bölgesi için bir model örneği (Giulia Perri, 2013-2014, Güz yarıyılı)

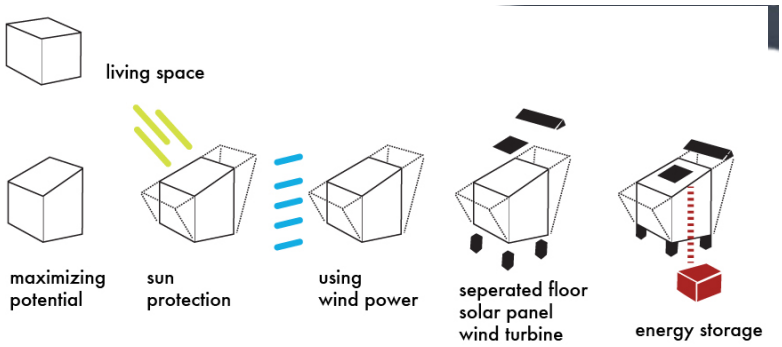
Şekil 4'te Ilımlı nemli iklim bölgesi için tasarlanmış bir öneri verilmiştir. Binanın güneşten optimum düzeyde yararlanması öngörülmüş, güneş serası, güneye yönlendirilmiş cam yüzeyler ve fotovoltaik paneller kullanılmıştır. Ayrıca, Design Builder programı aracılığı ile binanın enerji simülasyonu yapılmıştır. **Şekil 5**'te binanın Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde yer aldığı kabul edilerek belirlenen enerji giderleri verilmiştir.

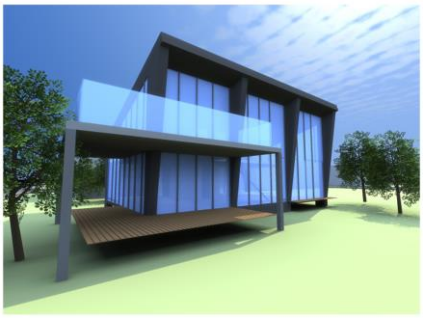


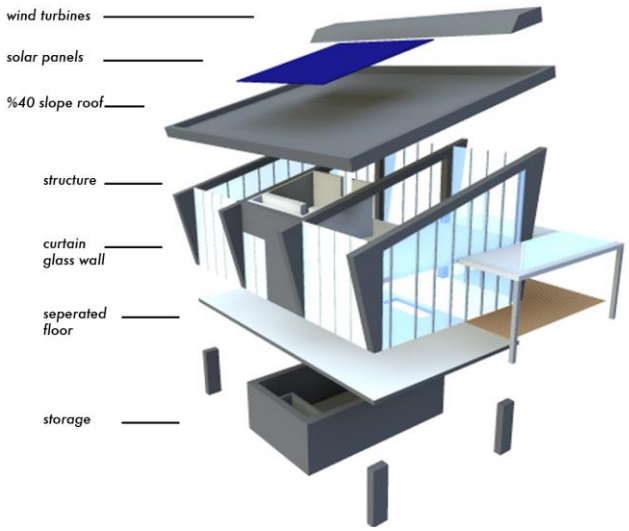
Şekil 4. Ilımlı nemli iklim bölgesi için bir öneri (Yasemin Erdem, 2013-2014 Güz yarıyılı)



Şekil 5. Öneri binanın enerji simülasyonu (Yasemin Erdem, 2013-2014 Güz yarıyılı)







Şekil 6'da sıcak nemli iklim bölgesi için tasarlanmış bir öneri verilmiştir. Bu öneride sıcak nemli iklim bölgesinin karakteristik formu olan dikdörtgen formdan yola çıkılarak, bina yüzeylerinin rüzgar ve güneş enerjisinden yararlanılacak şekilde düzenlenmesi ile yeni model oluşturulmuştur.

Şekil 6. Sıcak nemli iklim bölgesi için tasarlanmış bir öneri
(Mehmet Altunbay, 2013-2014 Güz yarıyılı)

Farklı iklim bölgelerine uyarlanmak üzere tasarlanmış bir "Mobil ev" projesine ilişkin görsel **Şekil 7**'de verilmiştir. Önerilen projede temel olarak enerji etkin tasarım prensipleri uygulanmıştır. Güney cephesinde iç bahçe tasarlanmış, PV panellerle güneş enerjisinden yararlanılmış, minimum alan kullanımı esas alınmış, mutfak ve banyoların hakim rüzgar yönüne göre konumlandırılması öngörülmüştür. Uygulama sırasında yöresel malzeme kullanımı ve tasarımın yöresel özelliklere göre geliştirilmesi önerilmiştir.



Şekil 7. Mobil ev önerisi
(Samet Gündoğan, 2013-2014 Güz yarıyılı)

4. DEĞERLENDİRME: STÜDYO ORTAMINDA ENERJİ ETKİN TASARIM

Mimarlık eğitiminin merkezini oluşturan ve diğer meslek eğitimlerinden ayıran yönü stüdyo çalışmalarıdır. Çevre ve enerji sorunlarının çözümünde çağdaş önerileri geliştirebilmek, stüdyo ortamında farklı disiplin ve yaklaşımları birleştirerek kendine özgü yaklaşımların kullanılması ve çeşitli alternatiflerin denenmesi yoluyla mümkün olabilir. Bu açıdan enerji etkin tasarım eğitimi, konu alanındaki temel ilkelerin ve mevcut yaklaşımların öğrenciye verilmesi, çağdaş yaklaşımların öğrenciler tarafından araştırılarak sunulması ve tartışılması, stüdyo ortamında enerji ve çevre sorunlarına çözüm önerilerinin geliştirilmesi sürecini kapsamalıdır. Bu süreçte, öğrenci, öğretim üyesi ile birlikte,

- konuya ilişkin bilgileri, verileri değerlendirme
- mevcut ve güncel yaklaşımları tartışma
- geçmiş ve güncel örnekleri irdeleme
- yeni problem alanını tanımlama
- problem alanına ilişkin çözüm önerilerini özgürce ortaya koyma-model oluşturma
- öneriler arasındaki olumlu ve olumsuz yönleri tartışma- modelin değerlendirilmesi
- eleştirme / eleştirilme
- karar verme- uygun modelin seçilmesi
- uygun modelin sunumu

işlemlerini stüdyoda yürütülmesi sonucunda enerji etkin bina tasarımı alanında uygun çözümlere ulaşabilecektir.

Stüdyoda çözüme giden her türlü yaklaşım yaratıcı düşünce ve öneri geliştirmeye ivme kazandırmaktadır. Bu tür bir stüdyoda denenmemiş her türlü alternatif, teknik bilgiler ışığında teşvik edilmelidir. Diğer bir deyişle yaratıcı düşünce geliştirilirken, uygulamaya dönük alternatiflerin de desteklenmesi, dünyadaki çevre ve enerji sorunlarına çözümler sunulması açısından önem taşımaktadır. Enerji etkin tasarım konusunda verilen teorik ve teknik bilgilerin ve farklı disiplinlere ilişkin yaklaşımların stüdyoda entegre edilmesi çağdaş yaklaşımların geliştirilmesinde önemli bir adımdır. Eleştiri ile öğrencinin doğru yönlendirilmesi, gözden kaçırdığı konulara dikkatinin çekilmesi, bilincinin geliştirilmesi sağlanabilir. Bu öğrencinin yaptığını sorgulamasına da olanak sağlayabilir. Her öğrencinin karar verdiği uygun modellerin sunulması, öğrencinin diğerlerinin çözüm önerilerini de değerlendirmesi ve karşılaştırma yapabilmesi açısından önemlidir. Bu noktada bir diğer amaç öğrencinin bağımsız bir kurgulama yaparak daha anlamlı bilgi ve beceriler kazanmasıdır. Öğretim üyeleri ise bu süreci besleyecek olanakları sağlamaktadır. Diğer bir deyişle edilgen öğrenim yaklaşımı yerine etkin bir yaklaşım benimsenmektedir.

Öğrenci enerji etkin bina konusunda öğrenimi için uygun yöntem ve yaklaşımlarla problemi analiz edip değerlendirerek rasyonel çözümlere ulaşmaya çalışmaktadır. Öğretim üyeleri ise doğrudan verdiği bilgileri azaltarak enerji etkin tasarımda yaşanacak sorunlara bağlı olarak iklim ve çevre koşulları, sınırlamalar üzerinde durabilmekte, öğrencinin bilgi ve becerisini geliştirmesi için yol göstermektedir. Bu yaklaşımla, öğrencinin dönem içinde bireysel ve birlikte yaptığı çalışmalar önem kazanmakta ve dolayısıyla dönem içi çalışmaların değerlendirmesi önem kazanmaktadır. Bu şekilde yürütülecek ve öğrencinin etkin konumda olmasını destekleyecek bir stüdyo çalışması ile sürdürülebilir enerji sağlama açısından gerçek problemlerin çözümü olanaklı olabilmektedir.

5. SONUÇ

Sürdürülebilir mimaride, doğal kaynakları tüketmeyen, gelecek kuşakların gereksinmelerini karşılayabilme olanaklarını ellerinden almayan, ekonomi ve ekosistem arasındaki dengeyi koruyan, ekolojik açıdan sürdürülebilir nitelikte olan yaklaşımların geliştirilmesi esas alınmaktadır. Ekolojik ilkelere uygun olmayan enerji kullanımının dünyada önemli çevresel sorunlara yol açtığı bilinmektedir. Bu sorunlar karşısında enerji etkin tasarıma olan yönelim çağdaş bir çözüm olarak ortaya çıkmış, mimarlık eğitiminde çeşitli boyutlarda ele alınan bir konu haline gelmiştir.

MIM 335 Energy Efficient Housing seçme dersi kapsamında konuya ilgi duyan öğrencilerin etkin katılımları ile çeşitli konularda araştırmalar yapılarak, bilgilerin paylaşılması ve tartışılması sonucunda öğrencilerin 3-4 hafta gibi kısa bir sürede enerji etkin konut binaları tasarlamaları istenmekte ve tasarımlarını istedikleri biçimde ifade etmeleri desteklenmektedir.

Enerji etkin tasarım eğitiminin sınırlı koşullarda sunulabildiği seçime bağlı bir ders kapsamında yapılan çalışmalar kısa sürede öğrencinin sorunlara çözüm üretebilecek potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Bu potansiyeli geliştirecek, yapma çevreyi tasarlayan mimarların, çevre ve enerji sorunlarının dünya üzerindeki olumsuz etkilerinin giderilmesinde önemli bir rol üstlenecekleri açıktır. Mimarın eğitim sürecinde ele alınan çevre duyarlı tasarım bilinci doğrultusunda, çevreyi kirletmeyen temiz enerji kaynaklarını kullanan enerji etkin bina tasarımı eğitiminin de verilmesi, konu alanına ilişkin, stüdyo ortamında farklı yaklaşımların denenerek çözüm önerilerinin karşılıklı olarak tartışılması, yeni arayışlara yönelme ve yeni bilgi üretebilmenin geliştirilmesi açısından gereklidir. Bu eğitimi alan mimarların binanın yapımı ve işletimi sırasında enerji ve kaynak tüketimini minimize etme yolunda alacağı tasarım kararları sürdürülebilirlik doğrultusunda olacaktır. Diğer bir deyişle, enerji etkin bina tasarımı eğitimi ile yaşam kalitesinin arttırılması, sağlıklı, konforlu ve sürdürülebilir çevrenin yaratılması olanaklı olabilecektir.

KAYNAKLAR

1. McDonough, W., 1992, The Hannover Principles: Design for Sustainability, William McDonough , Architects, New York.1. The World Bank (October, 2010). Climate change scenarios and climate data. Discussion paper number 9.

2. Smith, P., C., 2000, Building Hong Kong, Environmental Considerations, Edited By Wong Wah Sang and Edwin Hon-Wan Chan, Hong Kong University Press.

3. Hawkes, D., Forster, W., 2002, Energy Efficient Buildings, W.W Norton&Company Ltd, London.

4. Koçlar Oral, G., Yener, A. K., Bayazıt, N.T., Manioğlu, G., 2010, Mimarlıkta Yapı Fiziği Konuları: Çevre Kontrolü Stüdyosu Örneği, Yapı Fiziği ve Sürdürülebilir Tasarım Kongresi, Kongre Kitabı.

SÜRDÜRÜLEBİLİR TASARIMLAR İÇİN BIM KULLANIMI VE KOLAY ANALİZ YÖNTEMLERİ

Y.Doç.Dr. Ahmet Turan Köksal[a]
Zirve Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi
Gaziantep

ÖZET

Yapı Bilgi Sistemi (YBS) yazılımları, sürdürülebilirlik benzetimi (simülasyon) yapabilen, tasarımcılar ve öğrenciler tarafından kullanılan sistemlerdir. İlk çıktıklarında, pahalı, oldukça hantal, karmaşık, öğrenilmesi zor ve mühendislik ön bilgisi gerektiren yazılımlardı. Günümüzdeyse nispeten kolaylaşmış, ucuzlamış (genelde bedava) ve bütünleşik hale getirilmiş (entegrasyonu sorunsuz) olanları tercih edilmektedir.
Örneğin, ABD Enerji bakanlığı, SketchUp üzerine çalışan eklentiyi bedelsiz olarak kullanıma sunmuştur. Bu eklenti tam bir YBS yazılımı sayılmayabilir ama çok işlevli bir hesaplama yardımcısı olarak kabul edilmektedirler.
Bu çalışmada örnek olarak seçilen iki pilot yazılım SketchUp ve Revit (Vasari) için "kolay öğretim ve uyum sağlama" yönetimi önerilmektedir.

Anahtar sözcükler: Sürdürülebilir Çevre için tasarım, Enerji Performans Modelleme ve Simülasyon, Enerji etkin tasarım

ABSTRACT

Building Information System (BIM) software can simulate sustainability. It is generally used by designers and students. When it first came out, it was cumbersome and not user-friendly. It also required prior knowledge of engineering and not to mention it was expensive. Nowadays, designers prefer, easy, inexpensive (often free), integrated and optimized BIM software.
For example, U.S. Department of Energy, releases free plug-in for simulating energy consumption which is running on SketchUp. This plugin is not BIM software exactly; but it is recognized as a calculation helper.
As examples of the two selected pilot software, SketchUp and Revit (Vasari) are recommended. Because these softwares are easily adaptable to teaching and management.

Key words: Design for sustainable environment, Modelling of Energy performance and simulation, Energy efficient design

[a] e-posta adresi: ahmet.koksal@zirve.edu.tr

1.GİRİŞ

Building Informatin System (Kısaca BIM) ve Türkçe karşılığı ile Yapı Bilgi Sistemi son yıllarda tasarım, planlama ve üretimin her safhasında kullanılan, sonuç bilgisi ortaya koyabilen (çıkarım yapabilen) yazılım ya da sistemlerdir. BIM kısaltması son on yılda daha sık kullanılsa da ve inşaat sektörünün geçmişi düşünüldüğünde yeni sayılabilecek bir kavramdır. Bu yüzden BIM öncesi tasarım, planlama ve üretim yöntemlerini kullanan kişiler ve kurumların bu yeni sisteme kolayca geçişi ve öğrenme gereksinmelerinin karşılanması gerekmektedir.

Tasarım kavramıyla yeni tanışmış ve ileride verimli olarak BIM kullanabilecek tasarımcılar yetiştirmek için, ilk tasarım eğitiminde düzenlemeler yapılmalıdır. Böylece ileride uyum sorunu ile karşılaşılmaz. Son yıllarda tasarım eğitimindeki, bilgisayar destekli tasarım olgusu ve kullanımının bu yöne kaydığı gözlenmektedir.

Bunun yanında tasarım eğitiminde radikal ve toptan bir değişikliğe gitmek yerine, her iki eğitim tipinin karıştırıldığı yöntemler daha verimli sonuçlar vermektedir. Örneğin, işlevsellik, estetik, maliyet gibi bilindik ve klasik ana kavramlar yanına artık onlar kadar güçlü gereklilikler: enerji etkin planlama ve sürdürülebilirlik kavramları da eklenmelidir. Böylece öğrenci de, önceden BIM'le çalışmamış tasarımcı da bu yeni tasarım kriterlerini dikkate almış olacaktır.

2. TASARIMIN ORTAYA KONULMA ŞEKİLLERİ

Elle yapılan çizimlerde, çizgilerle betimlenen mekânsal tanımlamalar, sadece kâğıt üzerindeki izlerdir. Bu izlerin anlamlı bir hal alması (değerli olması) bilgi sunması, kâğıda çizen dışında, o çizimleri okuyanın önceden teknik bilgi sahibi olmasıyla mümkündür. Bilinmeyen bir alfabeyle ya da bilinmeyen bir dille yazılmış edebi bir eserin değerini ölçmek nasıl imkânsızsa, bilinmeyen çizim tekniğiyle ortaya konan tasarım da anlaşılamaz. Çizim tekniğinin bilindiği varsayımıyla hareket etsek bile klasik kâğıda çizilmiş projeden elde edilen bu tür veriler sadece optik kopyalama (fotoğraflama, fotokopi, ozalit gibi) yöntemleri ile çoğlatılabilir. Düzeltilmesi oldukça zordur.

CAD (Computer Aided Design-Drafting) Bilgisayar Destekli Tasarım-Çizim, 1980'lerin son yarısında sıkça kullanmaya başlanmıştır. **[1]** Bu sayede kâğıt üzerinde mürekkep ile iz bırakama yöntemiyle bilgi sunmak yerine, sayısal ortamda veri saklanmaya başlanmıştır. Yeniden çıktı almak, çoğaltmak ve üzerinde düzeltme yapmak elle çizime nazaran kolaydır. Katmanlar sayesinde bazı analizler de yapılabilir. Alan ölçülebilir, objeler sayılabilir, bloklar kullanılabilir. CAD sistemleri günümüzde birçok tasarım ofisi tarafından kullanılmaktadır.

CAD ile 3 boyutlu modellemeler de yapılabilir. Genellikle görselleştirme ve sunum amacı ile kullanılmaktadır. Diğer taraftan mekânların hacimlerinin hesaplanmasında faydalıdır. Yine de BIM için sadece altlık oluşturabilirler.

Bilgisayar destekli çizim tekniklerinde görülen gelişmelere rağmen yapı elemanları hala çizgi şeklindedir. Örneğin, paralel iki çizgi duvarı betimler. Ancak bu varsayımsal bir kabuldür. **[2]**

BIM denilen kavramda ise paralel iki çizgi olarak gösterilen şey sadece kullanıcı plan görmek istediğinde sistem tarafından o anda türetilir. Veritabanında o aslında gerçek bir duvardır. Hangi malzemeden üretileceği, ısı yalıtım değerleri, söz konusu duvar üretiminin inşaatın hangi safhasında yapılacağı (zaman bilgisi) ve hatta birkaç farklı alternatifi ile tutulmaktadır. Her türlü analize, çıkarıma ve tabii enerji etkin tasarım benzetiminde hesaba katılan bir elemandır. **[3]**

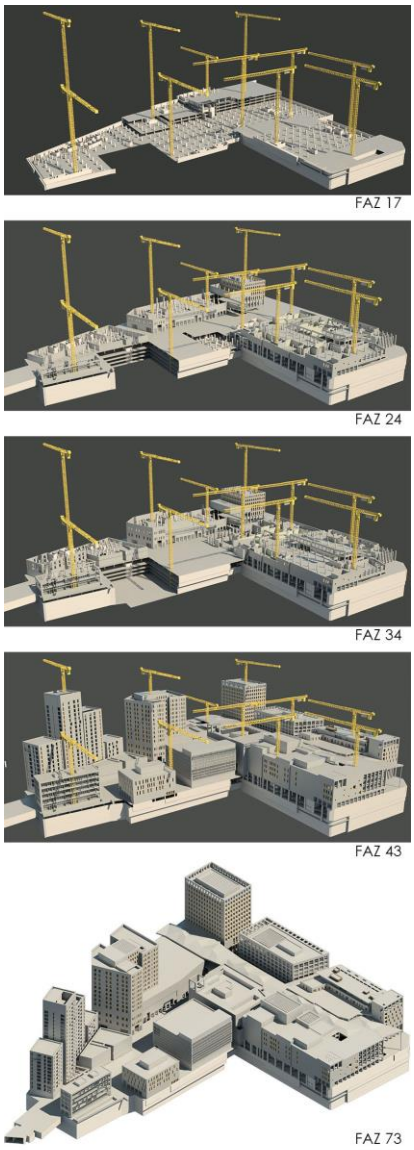
3. HEDEF KULLANICI İÇİN BIM'E GEÇİŞİN AVANTAJLARI İÇİN BİR ÖRNEK

Hedef kullanıcılar öğrenciler ve BIM'e geçecek tasarımcılardır. Öncelikli olarak kullandıkları 2 ya da 3 boyutlu modelleme yazılımlarındaki elemanlara veri tanımlayabilmenin getirileri anlatılmalıdır. Bunlardan biri BIM'in getirdiği onlarca yeni veri sahasından biri yapı elemanlarına "zaman" değeri vermektir. **[4]**

Örneğin yapılmış tasarımın uygulanmasında, hafriyat bir numaralı fazda, temel atılması iki numaralı fazda ve örneğin pencere doğramalarının takımı on yedi nolu fazda yapılabilir. Fazlar tarih içerebilir ya da hafta hafta tanımlanabilir. Fazlar içinde yeni üretim, montaj ya da yer değiştirme mümkün olabildiği gibi yıkım işi de olabilir. Örneğin on iki numaralı fazda artık taşıyıcı özelliği kalmamış bir duvar yıkılabilir, gereksiz bir yük asansörü kaldırılabilir.

"Autodesk Revit "Project Phasing" özelliği tasarım ve imalat kararlarının verildiği proje aşamasında, 4. boyut/zaman bilgilerinin de eklenmesi ile rölöve ve yeniden yapım çalışmalarından, şantiye ve proje yönetimine kadar birçok önemli kararın alınmasında zaman kazancı ve maliyet düşüşü sağlar" **[5]**

Doha, Katar'da Msheireb Downtown isimli çok fonksiyonlu gayrimenkul yatırımı için BIM ile yapılmış fazlar sayesinde projenin haftalara göre durumu raporlanabilir, görselleri çıkartılabilir ve hatta projenin aşamalara göre finans yapısının ortaya konması da mümkündür. Bunun dışında vinç kullanım programı için yapılan benzetim ile verimliliği kalmayan vinçlerin kaldırılmasına karar verilebilir. Proje yönetimi konusunda oldukça değerli bilgiler veren bu tür BIM kavramları, yapı elemanların finansmanı, depolanması ve bunlar gibi 2 boyutlu çizimlerde belirlenemeyecek özellikler sunmaktadır. Bu örnek BIM'in getirilerinden sadece biridir.



Şekil 1: BIM ile edilmiş verilerde, yapının farklı fazlardaki görsel olarak durumu.

4. ENERJİ ETKİN TASARIM İÇİN KOLAY ULAŞILAN YAZILIMLAR

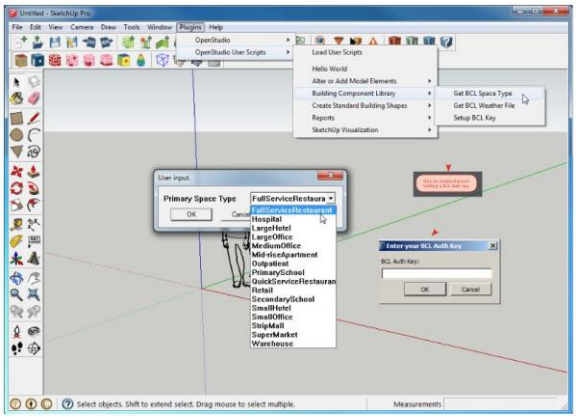
BIM'e geçişin özellikleri sıralanabilir ama işbu bildirideki ana konu enerji etkin tasarımın BIM veya ona benzer bedava sistemlerle benzetiminin yapılması ve bunun öğretim ve geçiş sürecinde örneklenmesidir.

Örnek olarak seçilen sistemler, A.B.D. Enerji Bakanlığı'nın kendisinin geliştirdiği ya da sitesinde duyurduğu yazılımlar ve SketchUp üzerinde çalışan eklentiler. AutoDesk firmasının Vasari isimli yazılımdır.

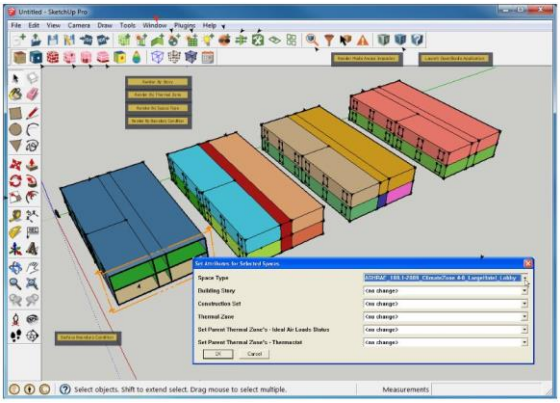
4.1. Bedelsiz SketchUp eklentileri

http://energy.gov adresli siteyle, Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı tüm ülkede yenilenebilir enerjiye yönelim, kaynakları verimli kullanma, tasarruf etme gibi konularda kamuoyunu bilgilendirmeyi de görev edinmiştir. Bunun dışında aynı sitede mimarlar, mühendisler ve araştırmacılar için kullanılacak çeşitli açık kaynak (open-source) yazılımların açıklamalarının yapılıp yüklenebileceği bir bölüm vardır.

Bakanlık iki ayrı geliştirme platformunu önerir. İlki bakanlık tarafından geliştirilen "EnergyPlus" ısıtma, soğutma, aydınlatma, havalandırma, diğer enerji tüketimi değerleri ve su kullanımı modeli yapabilen platformdur. Diğeri ise OpenStudio isimli ayrı bir açık kaynak kodlu platformdur. Her ikisinin de SketchUp üzerine çalışan eklentileri (plug-in ya da add-on olarak da geçebilir) vardır. Bedelsiz olarak yüklenebilir. **[6]**



Şekil 2: OpenStudio hazır bina scriptlerinin tanımı

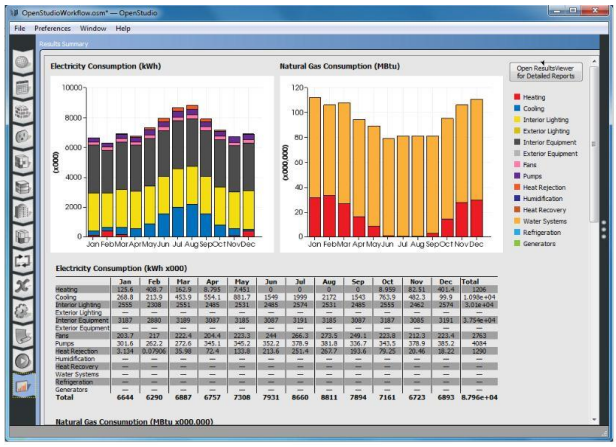


Şekil 3: OpenStudio mekan tipleri ve kabuk tanımları

SketchUp düşük bütçeyle piyasaya sürülmüş basit bir çalışma şekline sahip kolaylıkla öğrenilebilen 3 boyutlu modelleme yazılımıdır. SketchUp üzerinde Ruby denilen bir

programlama dili sayesinde özel programcıklar ve eklentiler yazılabilir. Örnek olarak verilen OpenStudio, SketchUp üzerinde çalışan bir eklentidir. Google tarafından satın alınmış ve desteklenmiştir. Bedelsiz olarak piyasa sürülen bir sürümü yanında ticari sürümünü de kullanıma sunmuştur. Amaç, Google Earth denilen harita servisinde yer alacak 3 boyutlu bina modellerini kullanıcılara yaptırmak için kolay bir yazılım tabanı sunmaktır.

SketchUp'ın sık kullanımı ve kolaylığı yüzünden ABD Enerji Bakanlığı eklenti hazırlamış ve ücretsiz olarak dağıtmaktadır. Çalışma şekli şöyledir. Eklenti SketchUp yüklü bir bilgisayara kurulur. Kullanıcı modeli üzerindeki kabuğun tanımını yapar. Örneğin, sağır duvar, pencere, ışıklık, kapı, çıkıntı ve girintiler, çatı ve temel formu gibi hacim belirleyici yüzeyleri belirler. Bunlar için malzeme ve yalıtım değerleri belirler. Benzetimi yapılacak binanın ne amaçla ve kaç kişi tarafından kullanılacağı da tanımlanır. Ayrıca model dünya koordinat sistemine göre gerçek yerinde olmalıdır (SketchUp'ın Google Earth ile bütünleşik yapısı ile yön ve yer tanımı yapılabilir) Yine yazılımı sunan kuruluşun tüm dünya için verdiği iklim verisi de yüklenir. Sonra yazılım benzetim hesaplamasına bırakılır. Aşağıdaki şekil bir sonuç analizidir.

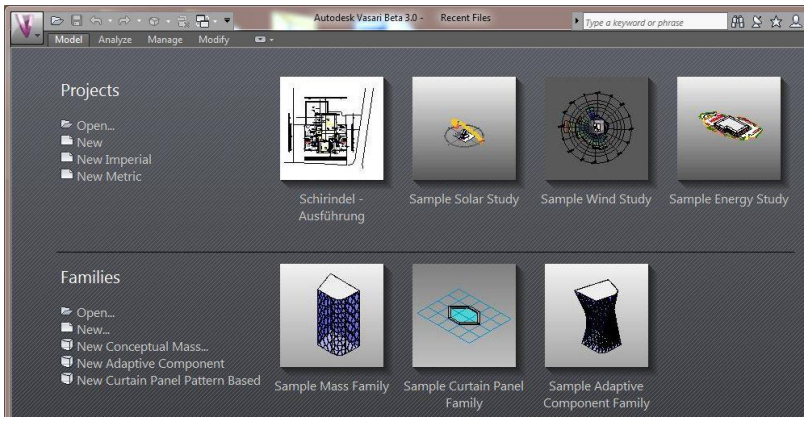


Şekil 4: OpenStudio sonuç analizleri.

Yazılım çeşitli sonuçları görsel olarak ve bazı diyagramlarla kullanıcıya verir. Sonuçlara göre tasarıma geri dönüp bazı bölümleri değiştirmek (optimize etmek) kullanıcının elindedir. Böylece kullanıcı estetik, fonksiyon ve maliyet gibi diğer kıstasları da dikkate alarak enerji etkinliği konusunda en uygun tasarımı deneyerek bulabilir. **[7]**

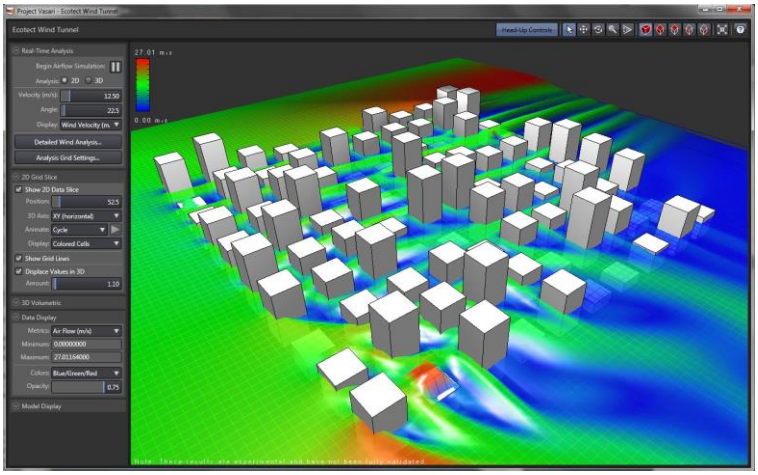
4.2. Vasari

AutoDesk firması Revit isimli yazılımı, mimari, stüriktürel, mekanik elektrik ve tesisat konularında çalışması için farklı sürümlerle piyasaya sürmüştür. Yazılımın özellikleri ve yapabildikleri arttıkça fiyatı da artmış, kullanımı daha çok profesyonel firmalar tarafına doğru dönmüştür. "Vasari Project" isimli daha çok tekil kullanıcıya yönelik bir çalışma başlatılmıştır. İşbu makale yazılırken "Beta3" sürümü dağıtımdadır. **[8]**



Şekil 5: Vasari solar, rüzgâr ve enerji analizleri için ilk açılışta sunduğu şablonlar.

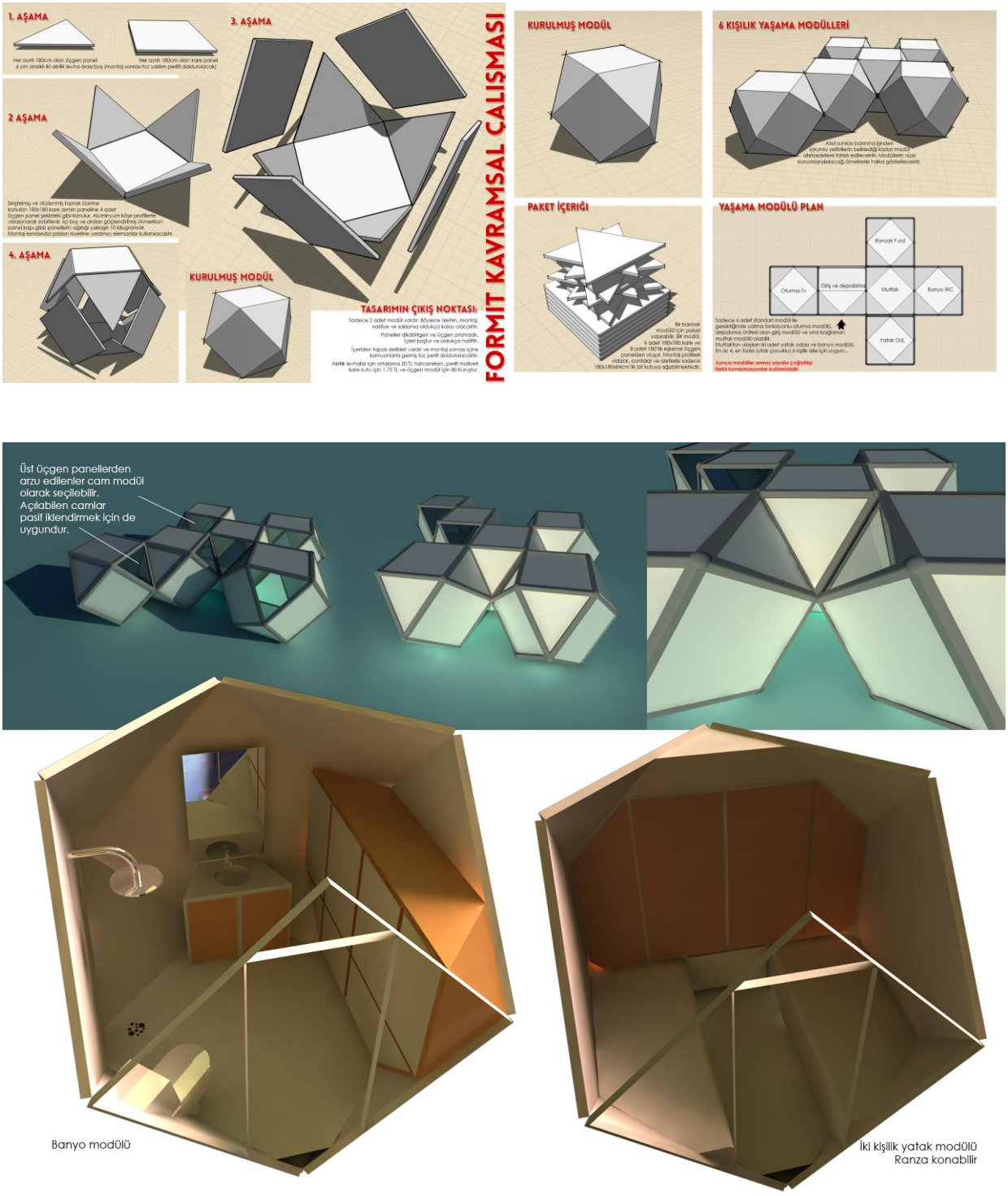
Vasari'nin Revit ve Ecotect isimli iki büyük yazılımın özellikleri ve arayüzü onlara benzeyecek şekilde çalışmaktadır. Kullanıcılar, ısı, rüzgar, solar radyasyon ve diğer analizleri bu yazılım ile yapabilmektedirler. SketchUp eklentisinden daha farklı olarak kullanıcılar tasarımlarını "Mass" denilen daha kaba yani kütle şeklindeki hali üzerinden çalışabilir ve verileri bu şekilde hesaplama içine alabilirler. **[9]** FBX formatında sonuç almaları da mümkündür.



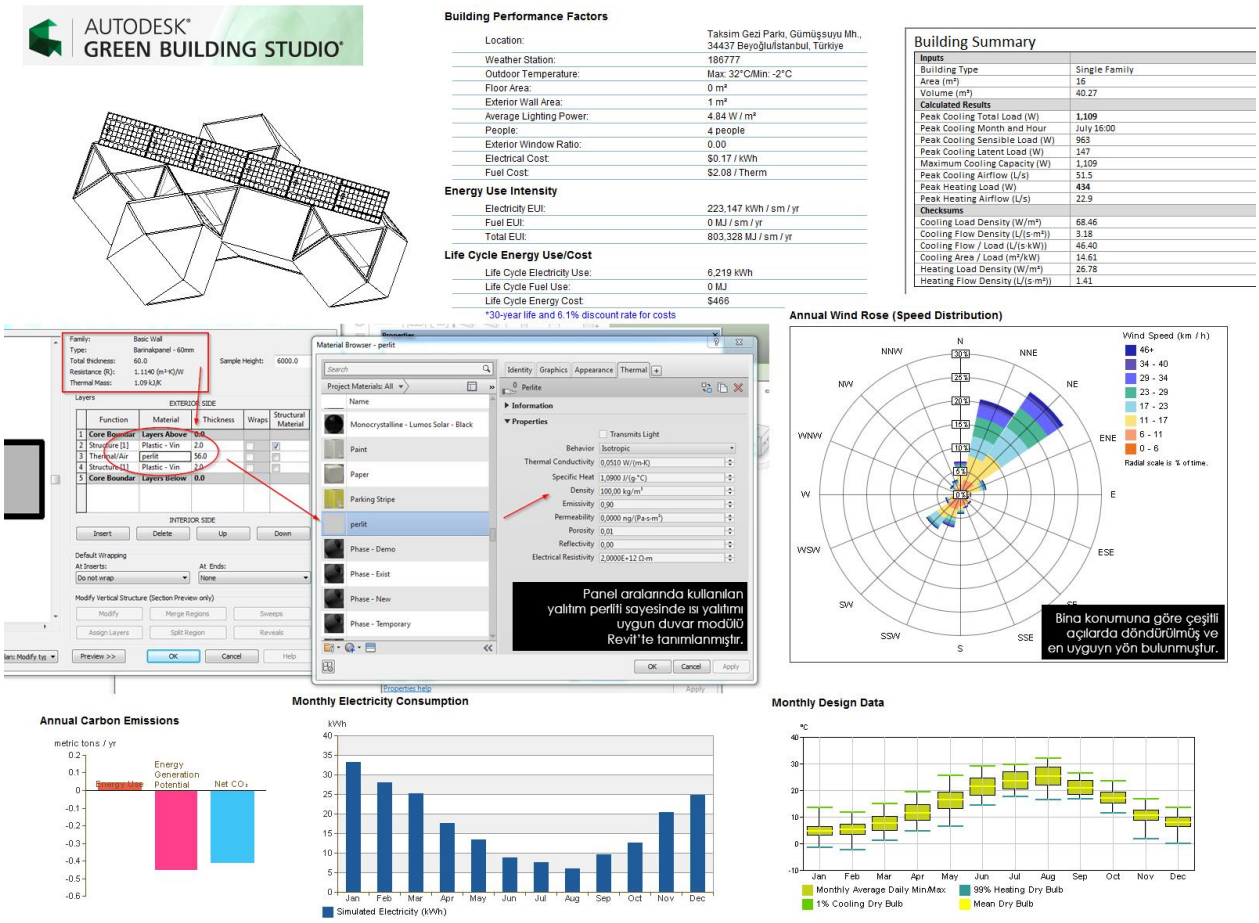
Şekil 6: Vasari ile yapılmış bir mahalle için gerçekçi halim rüzgâr benzetimi.

Analiz, "AutoDesk Green Building Studio" denilen çevrimiçi (online) bir sistem izniyle yapılır. Sonunda kullanıcıya bir analiz sonucu sunulur.

Örneğin "AutoDesk Desing Idol" isimli yarışmada ülkemizi temsil eden afet yöreleri için tasarlanmış geçici barınak tasarımı yarışmasında, sadece projenin tasarım unsurları değil analizler de istenenler listesindedir. Uluslararası projelerde bu tür analizler de zorunlu tutulmaktadır. **[10]**



Şekil 7: AutoDesk Design Idol yarışması için Türkiye'deki ulusal yarışmayı kazanan Zirve Üniversitesi Ekibi'nin afet sonrası geçici barınak tasarımı.



Şekil 8: Söz konusu projenin Green Studio ile yapılmış eneji analizleri.

5. SONUÇLAR

Enerjinin çok değerli olduğu ve verimli kullanılmasını gerektiren bir çağda yaşamaktayız. ABD Enerji Bakanlığı verilerine göre dünyada harcanan enerjinin %40'ından fazlası konutlarda (temel yaşama ihtiyaçlarını gidermek için) kullanılıyor. Bu yüzden tasarımcılara harcanan enerjinin azaltılması için enerji etkin tasarım yapmak gibi bir görev düşmektedir.

Tasarımın estetik, fonksiyon ve maliyet boyutunun yanında bu tür analizlerle test edilmesi için kullanıcılar farklı analiz yazılımları kullanmak zorundadırlar. Tasarlanan bir konut bloğunun, arkadaki bloğa yılın ne zamanı, ne kadar gölge vereceği, rüzgar tüneli oluşup oluşmayacağı, gri su kullanımının gereklikleri, mekanların gün ışığı hesaplamaları artık 3 boyutlu geometrik hesaplama yazılımları ile mümkündür. Projeler yine de bildik şekilde elde çizilebilir (büyük verim ve işgücü kaybıdır) ancak bu tür analizler klasik yöntemlerle bu araçlar olmadan yapılamaz. **[11]**

BIM'e geçiş yapan ya da tasarım eğitimi alan kişilere eğitim sürecinde mekanların 3 boyutlu analizinin yapılacağı, kabuk tanımlama ve yalıtım hakkındaki genel bilgilerin verilmesi gerekmektedir.

Temel tasar, estetik kaygılar hatta sosyal ve kültürel kıstaslar gibi genellemelerin yanında analiz programlarında kütle şeklinde bile olsa denemeler yapıp, yapılan bu tür analizlerden çıkan sonuçların verdiği değerlere göre tasarım değiştirilmelidir. Ayrıca yapıda kullanılacak malzemelerin seçiminde geri dönüşüm, yalıtım ve doğaya uyumlu seçimler için de ayrı öğrenme çıktıları ortaya konmalıdır.

Sürdürülebilir tasarım için, analiz araçlarının kullanımı ve tasarımın sürekli optimizasyona kolay uyum sağlanabilmesi için ilk tasarım eğitimi ve geçiş süreçlerinde müfredat güncellemeleri yapılmalı, ek eğitimler verilmelidir.

KAYNAKLAR

1. M. Bozdoc, "The History Of Cad" MB Solutions web site. (Erişim 12.12.2013) http://mbinfo.mbdesign.net/CAD-History.htm

2. E. Robbins, "*Why Architects Draw*" Cambridge MA, MIT Press (1994)

3. H.W.J. Ashcraft, "Building Information Modeling: A great idea in conflict with traditional concepts, liability and Professional Responsibility" Schinnerer's 45th Annual Meeting of Invited Attorneys. (2006)

4. A. Roe, "The Fourth Dimesion is Time" Steel, Australia (2006)

5. Sayısal Grafik "Teknik Döküman-10736" *Autodesk Revit inşaat aşamaları* , Erişim (12.12.2013), http://www.eharita.com.tr/download/sayisalgrafik/revittd/td10736.pdf

6. M. Day, "Intelligent Architecturel Modeling" AECMagazine (Eylül 2002)

7. "*Open Stuido SketchUp Plug-in, Reference Guide"* (Erişim 01.12.2013) http://openstudio.nrel.gov/sketchup-plug-reference-guide

8. Vasari project Beta3 web site (Erişim 01.12.2013) http://autodeskvasari.com/

9. I.C. Braid, "Designing With Volumes" Cambridge UK, Cantab Press, Cambridge University (1973)

10. Green Building Studio "Green Building XML Schema" (Erişim 10.12.2013) http://www.gbxml.org

11. E. Sakınç "*Sürdürülebilirlik Bağlamında Yapı Fiziği Konularının Tasarıma Etkilerinin İncelenmesi*" Yapı Fiziği ve Sürdürülebilir Tasarım Kongresi, (04-05 Mart 2010) İstanbul.

TÜRKİYE'DE MİMARLIK EĞİTİMİNDE AKUSTİK: GÜNCEL DURUM

Araş. Gör. Onurcan Çakır[a]
Araş. Gör. Zeynep Sevinç[b]
Doç. Dr. M. Emre İlal[c]
[a,c] İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mimarlık Fakültesi, Gülbahçe, Urla, İzmir
[b] İzmir Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Güzelyalı, İzmir

ÖZET

Bu çalışmanın amacı Türkiye'deki mimarlık bölümlerinde mimari akustik eğitiminin ağırlığının ne düzeyde olduğunun belirlenmesidir. Mimari akustik üzerine özelleşmiş dersler birçok mimarlık programında yer almamaktadır. Mimari akustik konuları, diğer teknik Yapı Bilgisi dersleri içerisinde, bir giriş niteliğinde özetlenmektedir. Bildiride lisans ve lisansüstü düzeylerde programları olan mimarlık bölümlerinde lisans ve lisansüstü derslerin içerikleri incelenerek mimari akustiğin hangi başlıklar altında işlendiği, mimarlık eğitimi süresince ağırlığı ve kapsamı araştırılacaktır, bölümlerde araştırma olanakları belirlenecektir. İncelemede bilgiler, akademik kurumlarla iletişime geçilerek telefon ve e-postalar aracılığıyla veya yüz yüze görüşmelerle toplanmıştır. Akustik ile ilgili çalışmalar yürütülen üniversitelerde bulunan lisans ve lisansüstü programlarının ve bu kapsamda ele alınan derslerin de dahil olduğu benzer bir araştırma raporu, 2000 yılında Türk Akustik Derneği tarafından hazırlanmıştır. Son 14 yılda gerçekleşmiş olan mimarlık bölümlerindeki artış nedeniyle önceki araştırmanın güncellenmesi gerekmiştir. Bildiri, bu gereksinime de bir yanıt oluşturmaktadır.

Anahtar sözcükler: Mimarlık Eğitimi, Mimari Akustik

ABSTRACT

The aim of this study is to determine to what extent architectural acoustics is included in architecture curricula and find out the state of research facilities across academic institutions in Turkey. Many architecture programs do not include courses that specifically focus on architectural acoustics. Architectural acoustics is only briefly introduced in courses on Building Science. In this study, an inventory of all courses that include topics on acoustics is prepared through examination of course descriptions of all graduate and undergraduate programs on Architecture, phone interviews with individual instructors who teach these courses and a web-based questionnaire. This comprehensive approach is desired in order to build a reliable database that can facilitate the establishing of a set of minimum requirements for architectural acoustics within architecture curricula. This work builds on a similar effort carried out by the Turkish Acoustical Society in 2000. The current study updates this previous work to include the numerous architecture programs that have started over the last 14 years and expands it by including research facilities of institutions. This study constitutes an assessment of the current state of architectural acoustics education in Turkey.

Keywords: Architectural Education, Architectural Acoustics

[a] e-posta adresi: onurcancakir@gmail.com
[b] e-posta adresi: zeynepsevinc@gmail.com
[c] e-posta adresi: emreilal@iyte.edu.tr

1.GİRİŞ

Son yıllarda mimarlık bölümlerinin sayısında hızlı bir artış görülmektedir. Yeni kurulan üniversiteler bünyesinde kısıtlı kadrolarla kurulan yeni bölümlerin oluşturduğu mimarlık programlarında teknik derslerin, özellikle yapı fiziği konularının işlendiği derslerin zorunlu dersler arasına alınmaması söz konusu olmuştur. Malzeme, yapı fiziği ve yapım yönetimi konuları mimarlığın dışında birer uzmanlık alanı olarak görülmekte, öğretim üyesi bulunduğunda seçmeli derslerde işlenmektedir. Hatta bütünüyle lisansüstü programlara kaydırılmaktadır. Türkiye'de hızlı bir evrim içerisinde olan mimarlık eğitiminde mimari tasarım için yapı fiziği bilgisinin vazgeçilmez olduğunun yeniden vurgulanması ve lisans düzeyinde yapı fiziği dersleri için bir standart aranmasında fayda vardır. Bu çerçevede bir durum tespiti gerekmektedir.

Yapı fiziği konuları arasında özellikle akustik, çoğunlukla görsel değerlendirilen mimari tasarım bağlamında, kolayca göz ardı edilebilmektedir. Bu nedenle ilk olarak akustik başlığı ele alınmıştır. Bildiride Türkiye'deki mimarlık bölümlerinin programlarında akustik eğitiminin günümüzdeki yeri incelenmektedir.

Çalışma eğitimin ötesinde meslek pratiği için de önem taşımaktadır. Meslek pratiğinde giderek önem kazanan mimari akustiğin bir uzmanlık alanı olarak tanınmasına rağmen akustik danışmanları birleştiren bir yapının eksikliği hissedilmektedir. Bu uzmanlık alanına bir kimlik kazandırılması ve uygulamada bütünlük oluşturulması gerekmektedir. Bildiri, önemli bir durum tespiti oluşturmayı hedeflemektedir.

2. LİTERATÜR

Mimari akustik ile ilgili konular, üniversitelerin mimarlık bölümlerinde işlenmekte ve bu konunun eğitimdeki yeri bilimsel olarak incelenmeye devam etmektedir. Araştırma süresince yurtiçi ve yurtdışında mimari akustik eğitimi üzerine yapılmış olan diğer çalışmalar incelenip, Türkiye'de lisans ve lisansüstü düzeyinde verilen mimari akustik eğitimin durumu ve içeriği araştırılmıştır.

2000 yılında Türk Akustik Derneği'nin (TAKDER) yayımladığı "Türkiye'de Değişik kuruluşlarda Akustik ile İlgili Eğitim, Ölçme, Laboratuvar Olanakları" envanterinde, Türkiye'de akustik konularında eğitim ortamı ve ölçme araştırma olanakları incelenmiştir **[1]**. O dönemde yapılan tez çalışmaları, araştırma projesi gibi çalışmalar da bu dosya kapsamında yer almıştır. TAKDER'in yapmış olduğu çalışmada Tıp, Mühendislik, Mimarlık ve Konservatuar eğitimi veren kurumlar, akustik konusunun işlendiği yerler olarak belgelenmiştir. Çalışmamızda, son 14 yılda özel üniversitelerin hızlı artışıyla beraber güncelliğini yitiren bu envanter mimarlık bölümleri için baştan oluşturularak, üniversitelerde günümüzdeki durumun belgelenmesi amaçlanmıştır.

2013 yılında yapılmış olan Meriç ve Çalışkan'ın Türkiye'deki üniversitelerin mimarlık bölümlerinde akustik eğitimi ile ilgili yaptıkları çalışmada **[2],** 42 üniversite incelenmiş ve bu üniversitelerin 32 tanesinde akustik konularının lisans programında zorunlu dersler kapsamında işlendiği belirtilmiştir. Yapı Fiziği ve Fiziksel Çevre Kontrolü başlığı altında verilen derslerde, akustik konusunun genel olarak iki ya da üç hafta boyunca işlendiği vurgulanmıştır. 21

üniversitede ise, mimarlık lisans programında seçmeli dersler kapsamında akustik konularının işlendiği tespit edilmiştir.

Ayrıca, Karabulut ve Çalışkan'ın 'Mimarı Akustik Eğitiminde Bilgisayar Benzetimi Yoluyla Akustik Tasarım Denemesi: 1000 Kişilik Konser Salonu Örneği' başlıklı çalışmalarında **[3],** Mimari Akustik 1 adlı ders kapsamında hem öğrencilerin edinmiş oldukları bilgiyi tasarımlarına nasıl aktardıkları gözlenmiş hem de akustik eğitiminin lisans ve yüksek lisans müfredatındaki önemi üzerinde durulmuştur.

Bayazıt, Hohman ve Reder'in mimarlık öğrencilerine akustik konularının anlatılması üzerine yaptıkları çalışmalarında **[4],** mimarlıkta akustik eğitiminin tasarımı yönlendirici olması ve ses ile ilgili kısımların tasarım sonrasında uzmanların çözümüne bırakılacak bir konu olarak görülmekten uzaklaştırılması gerektiğinden bahsedilmektedir. Görsellik kadar, işitselliğin de tasarım sürecine dahil edilmesinin, mimarlık eğitiminde öğrencilere katkı sağlayacağı vurgulanmaktadır. Bu bağlamda, ses peyzajlarının da (soundscape) tasarım kapsamında ele alınılmasının gerekliliği üzerinde durulmuştur.

Amerika'da, üniversitelerde akustik eğitimi rehberi adı altında, Wright tarafından 1979, 1984 ve 1997 yıllarında olmak üzere, akustik konusunda çalışan uzmanların listesini içeren yayınlar yapılmıştır **[5, 6, 7]**. Ayrıca Amerikan Akustik Derneği (ASA) tarafınca hazırlanmış olan internet sitesi sayesinde akustik alanına ilgi duyanlar ve çalışanlar aynı platformda buluşup, konu ile ilgili yayınları ve duyuruları takip edebilmektedir. İnternet sitesinde mimari akustiğin dışında 17 akustik alanında yüksek lisans eğitimi veren kurumlar listelenmiştir **[8]**. Örneğin denizbilimi, sualtı, mühendislik, fiziksel, fizyolojik, psikolojik, müzik, ultrasonik ve tıp alanında akustik eğitimi veren kurumların ve kişilerin bilgilerine, hem de hangi kurumda hangi konuların öğretildiği bilgisine erişim mümkündür. Acoustics.org internet sitesinde ise akustik konusunda çalışan akademik kurumların internet sayfalarının bir listesi bulunmaktadır **[9].**

3. YÖNTEM

Çalışmamızda, Türkiye de bulunan üniversitelerin mimarlık bölümleri incelenmiştir. Öncelikle "Mimarlık Okulları Bölüm Başkanlar İletişim Grubu" MOBBİG'in internet sayfasındaki **[10]** ve bu grubun oluşturmuş olduğu "Mimarlık Okulları Sayısal Veritabanı" MOSAV'daki **[11]** listeler incelenmiş, listede birçok yeni açılmış üniversitenin bulunmadığı ve mevcut üniversitelerin de iletişim bilgilerinin güncel olmadığı görülmüştür. Bunun üzerine, çalışma kapsamında yeniden bir mimarlık bölümleri envanteri oluşturulmuştur. Bilgi toplama amaçlı form gönderilen üniversite listesi, Öğrenci Seçme ve Yerleştirme Merkezi (ÖSYM) mimarlık bölümleri taban ve tavan puanları listesinden alınmıştır. Bütün mimarlık bölümlerine e-posta yolu ile formlar gönderilmiş ve aynı zamanda üniversitelere telefon edilerek bölüm sekreterliklerinden alınan bilgiler doğrultusunda akustik konuların işlendiği dersleri yürüten öğretim üyelerinden doğrudan bilgi alınmıştır. Tüm bu yollardan bilgi edinilemediği durumlarda ise, bölümlerin internet sayfalarında yer alan ders programları ve içerikleri baz alınarak veriler toplanmıştır.

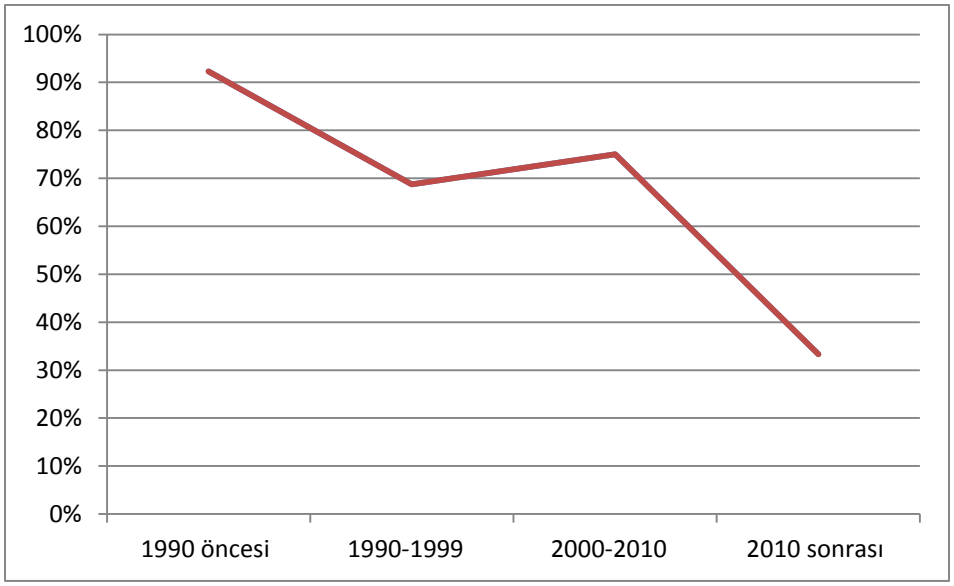
4. VERİLER

Türkiye'de 2014 yılı itibariyle 82 üniversitede mimarlık bölümü bulunmaktadır. Bu üniversitelerin mimarlık bölümleri; Mimarlık Fakültesi (31), Mühendislik Mimarlık Fakültesi (21), Mimarlık ve Tasarım Fakültesi (8), Güzel Sanatlar Tasarım ve Mimarlık Fakültesi (6), Güzel Sanatlar ve Mimarlık Fakültesi (4), Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi (4), Güzel Sanatlar Fakültesi (3), Sanat ve Tasarım Fakültesi (2), Mühendislik Fakültesi (1), Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi (1), Mimarlık Tasarım ve Güzel Sanatlar Fakültesi (1) kapsamında yer almaktadır.

82 bölümde zorunlu lisans derslerinde akustik konuların işlenme oranı %60'tır. Fakat üniversiteler, mimarlık bölümlerinin kuruluş yıllarına göre gruplandırıldıklarında farklı bir tablo ortaya çıkmaktadır **(Çizelge 1)**. 1990 öncesi kurulmuş olan eski kurumlarda akustiğin işlenme oranı %92 iken, 2010 yılından sonra kurulan 33 bölümün sadece 11'inde lisans seviyesindeki zorunlu derslerde akustik konuların işlendiği ve oranın %33'e düştüğü görülmektedir **(Şekil 1)**.

Çizelge 1: Mimarlık bölümlerinin kuruluş yıllarına göre, akustiğin zorunlu lisans derslerinde işlenme oranları

Kuruluş Yılı	Üniversiteler	Zorunlu lisans derslerinde akustik işleyenler	İşlenme oranı
1990 öncesi	13	12	92%
1990-1999	16	11	69%
2000-2010	20	15	75%
2010 sonrası	33	11	33%
Toplam	82	49	60%



Şekil 1. Mimarlık bölümlerinin kuruluş yıllarına göre, akustiğin zorunlu lisans derslerinde işlenme oranları

Akustik konularının işlendiği derslere dair bölümlerden toplanan bilgiler, dört ana başlık altında toplanmıştır. Mimarlık bölümlerinde verilen dersler, Lisans – zorunlu, Lisans – seçmeli, Lisansüstü – zorunlu ve Lisansüstü – seçmeli olacak şekilde gruplanmıştır.

4.1. Lisans – Zorunlu Dersler

Toplam 49 mimarlık bölümünde, akustik konuları bir lisans dersinin kapsamında zorunlu olarak işlenmektedir. Bu derslerin büyük çoğunluğu "Yapı Fiziği", "Fiziksel Çevre Kontrolü", "Yapı Teknolojileri" başlıklarına sahip olduğu gibi, sese dair temel bilgiler "Yapı Malzemesi" veya "Bina Sistemleri" gibi farklı alanlar kapsamında da işlenebilmektedir **(Çizelge 2).** Kaynaklardan erişilebildiği durumlarda, çizelgede dersin kaç haftalık kısmında akustiğe dair konuların işlendiği de belirtilmiştir. Zorunlu lisans derslerinde sese dair konular, 1 ila 7 hafta arasında bir zaman dilimini kapsamaktadır.

Çizelge 2: Lisans zorunlu derslerinin bulunduğu üniversiteler

Kurum	Ders Kodu	Ders Adı	Süre
Abant İzzet Baysal Üniversitesi		Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü	3 Hafta
Atılım Üniversitesi	MMR 304	Fiziksel Çevre Denetimi II	6 Hafta
Bahçeşehir Üniversitesi	ARC2082	Çevresel Konfor Sistemleri	2 Hafta
Bilkent Üniversitesi	ARCH 341	Çevre Teknolojisi I	
Bozok Üniversitesi	Mİ 405	Yapı Fiziği	
Çukurova Üniversitesi	MİM 385	Fiziksel Çevre Denetimi	
Dicle Üniversitesi	MİM325	Yapı Fiziği	5 Hafta
Doğu Akdeniz Üniversitesi	ARCH 345	Çevre Kontrolü II	
Doğuş Üniversitesi	MİMA 314	Fiziksel Çevre Kontrolü	
Dokuz Eylül Üniversitesi	MİM 2613	Yapı Malzemesi II	2 Hafta
Düzce Üniversitesi		Çevre Kontrolü Stüdyosu 1	
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi	351	Yapı Fiziği	1 Hafta
Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi	MİM341	Yapı ve Çevre Kontrolü	
Gazi Üniversitesi		Fiziksel Çevre Denetimi IV	6 Hafta
Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü	MİM 244	Fiziksel Çevre Denetimi	2 Hafta
Gediz Üniversitesi	AR 351	Çevresel Kontrol Sistemleri	
Girne Amerikan Üniversitesi	ARCH262	Çevre Bilimi II	
Işık Üniversitesi	ARCH 303T	Yapı Tesisatı	
İstanbul Arel Üniversitesi	6MIMMAU 310	Çevre Kontrolü	
İstanbul Aydın Üniversitesi	MIM221	Mimarlık Teknolojisi-III	
İstanbul Bilgi Üniversitesi	ARCH311	Fiziksel Çevre Kontrolü	
İstanbul Kemerburgaz Üniversitesi	ARCH 331	Yapı Bilimi Ve Teknolojisi III	
İstanbul Kültür Üniversitesi	MIM4024	Fiziksel Çevre Kontrolü I	
İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi	MIM 206	Fiziksel Çevre Kontrolü	
İstanbul Teknik Üniversitesi	MIM 242	Çevre Kontrolü Stüdyosu	4 Hafta
İzmir Ekonomi Üniversitesi	ARCH 305	Mimarlık için Çevresel Kontrol Sistemleri	1 Hafta
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü	AR 381	Yapı Fiziği II	7 Hafta

Kurum	Ders Kodu	Ders Adı	Süre
Kadir Has Üniversitesi	ARCH 352	Bina Sistemleri	
Karabük Üniversitesi	MIM 353	Fiziksel Çevre Denetimi II	
Karadeniz Teknik Üniversitesi	MIMB204	Fiziksel Çevre Bilgisi	5 Hafta
Maltepe Üniversitesi	MİMB 262	Fiziksel Çevre Denetimi	
Mersin Üniversitesi	MİM 251	Yapı Elemanları Ve Malzeme-I	2 Hafta
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi	MİM 317	Fiziksel Çevre Kontrolü	2 Hafta
Mustafa Kemal Üniversitesi	MIM- 2418	Fiziksel Çevre Denetimi I	7 Hafta
Niğde Üniversitesi	MIM3003	Yapı Fiziği Ve Çevre Denetimi	2 Hafta
Nuh Naci Yazgan Üniversitesi	MİM 410	Yapı Fiziği	
Okan Üniversitesi	ARCH 307	Fiziksel Çevre Kontrolü I	
Ortadoğu Teknik Üniversitesi	ARCH381	Çevre ve Bina Sistemleri	
Özyeğin Üniversitesi	MİM 305	Fiziksel Çevre Kontrolü	
Selçuk Üniversitesi	1211740	Yapılarda Gürültü Kontrolü	
Süleyman Demirel Üniversitesi	MIM 272	Fiziksel Çevre Kontrolü	1 Hafta
Toros Üniversitesi	ARCH 344	Çevre Kontrolü III - Akustik Gürültü Denetimi Ve Yangın	
Trakya Üniversitesi	MIM 304	Yapı Fiziği	
	Mİ 325	Yapı Fiziği II	
Uludağ Üniversitesi	MIM3003	Yapı Fiziği	
Yakın Doğu Üniversitesi	ARCH-115	Malzeme 1	
	ARCH-322	Yapı Fiziği II	
Yeditepe Üniversitesi	ARCH 309	Yapı Fiziği	2 Hafta
Yıldız Teknik Üniversitesi	MİM3031	Yapı Fiziği I	
	MİM3042	Yapı Fiziği II	
Yüzüncü Yıl Üniversitesi	MIM 303	Yapı Fiziği 1	4 Hafta
	MIM 304	Yapı Fiziği 2	4 Hafta
Zirve Üniversitesi	ARC 381	Çevre Kontrolü I: İklimlendirme Tasarımı	
	ARC 382	Çevre Kontrolü II: Aktif Tasarım	

4.2. Lisans – Seçmeli Dersler

22 üniversitede seçmeli lisans derslerinde akustik konuları işlenmektedir. Bu derslerin geneli, dönem boyunca tek konunun akustik olarak belirlendiği uzmanlık dersleridir. "Hacim Akustiği" ve "Gürültü Kontrolü" ana başlıkları altında konular değerlendirilmektedir **(Çizelge 3)**. Tiyatro ve konser salonlarının akustik açıdan tasarımı için özelleşmiş seçmeli derslere de rastlanmaktadır. Bazı üniversitelerde ise Fiziksel Çevre Kontrolü dersleri, seçmeli ders olarak programda yer almaktadır.

Çizelge 3: Lisans seçmeli derslerinin bulunduğu üniversiteler

Kurum	Ders Kodu	Ders Adı
Atılım Üniversitesi	GTM031	Salon Yapıları
Başkent Üniversitesi *	MİM449	Akustik Tasarımı
Bozok Üniversitesi	MSD 437	Akustik

Kurum	Ders Kodu	Ders Adı
Doğuş Üniversitesi	MİMA 414	Binalarda Gürültü Ve Akustik Sorunları
Dokuz Eylül Üniversitesi	MİM 4628	Tiyatro Yapılarının Mimari Ve Akustik Tasarımı
	MİM 3633	Fiziksel Çevrede Gürültü Kontrolü
	MİM 2529	Mimari Tasarımda İnsan Gereksinimleri
Düzce Üniversitesi		Yapı Akustiği
		Hacim Akustiği
Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi		Mimaride Akustik
Gedik Üniversitesi *	MİM215	Yapı Fiziği
	MİM415	Akustik
Gediz Üniversitesi	AR 378	Mimari Tasarımda Akustik Problemleri ve Çözümleri
	AR 475	Müzik ve Konuşma için Mimari Mekânların Akustik Tasarımı
İstanbul Kültür Üniversitesi	MIM0203	Yapılarda Akustik Sorunları Ve Ses Yalıtımları
İstanbul Teknik Üniversitesi	MIM 326	Tiyatro Ve Konser Salonlarında Akustik Sorunlar
	MIM 315E	Mimaride Akustik Problemleri
	MIM 325E	Salonlarda Akustik Tasarımı
	MIM 386	Ses Yutucu Malzemeler Ve Konstrüksiyonları
	MIM 479	Yapılarda Ses Yalıtımının Değerlendirilmesi
	MIM396	Binalarda Gürültü Kontrolü
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü	AR 384	Mimarlıkta Akustiğe Giriş
Karabük Üniversitesi	MIM 436	Işık, Ses Ve Sahne Tasarımı
Karadeniz Teknik Üniversitesi	SEC 427	Eğitim Yapılarında Akustik Tasarım
Kocaeli Üniversitesi *	MİM415	Yapı Ve Mekan Akustiği
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi	MIM 757	Hacim Akustiği Ve Gürültü Denetimi
	MIM 476	Fiziksel Çevre Kontrolü II
	MIM 795	Akustik Proje Tasarımı Ve Ölçüm Teknikleri
Namık Kemal Üniversitesi *	MİMS010	Mimari Akustik
Ortadoğu Teknik Üniversitesi	ARCH479	Müzikal Performans için Salonların Akustik Tasarımı
	ARCH361	Mimari Tasarımda Çevresel Kontrol için Yapı Sistemlerinin Entegrasyonu
Özyeğin Üniversitesi	MİM 418	Yapı Akustiği
Yaşar Üniversitesi *	INAR 350	Akustik ve Aydınlatma
Yıldız Teknik Üniversitesi		Fiziksel Çevre Denetimi
	MİM4242	Hacim Akustiği
		Yapı Akustiği
	MİM3211	Mimaride Gürültü Denetimi
Yüzüncü Yıl Üniversitesi	MİM 423	Yapı Akustiği

*Lisans – zorunlu dersi bulunmayan programlar

4.3. Lisansüstü – Zorunlu Dersler

Lisansüstü zorunlu dersler kapsamında detaylı bilgiye ulaşmak mümkün olmamıştır. Edinilebilen bilgiler bir araya getirildiğinde, İstanbul Teknik Üniversitesi'nde CKY 537E "Mimarlık Teknolojilerinde Araştırma Yöntemleri" dersi kapsamında akustik konularının incelendiği görülmüştür. İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nde ise AR 581 "Yapı Fiziği Temel İlkeleri" dersinde hacim akustiği ve gürültü kontrolü konuları işlenmektedir. Diğer üniversitelerde de benzer dersler bulunsa bile bu çalışma kapsamındaki geri dönüşler ve ders programlarının incelenmesi sonucunda ortaya konulamamıştır. Bu durumun, üniversitelerin büyük çoğunluğunda lisansüstü programlarda zorunlu derslerin sayısının az olması, bu derslerin tüm öğrencilerin ortak ihtiyaçları olan araştırma yöntemleri ve etik gibi konulara yönelik düzenlenmeleri ve dersi yürüten öğretim üyelerinin sık değişmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.4. Lisansüstü – Seçmeli Dersler

14 üniversitede, mimarlık bölümlerine bağlı lisansüstü programlarda akustik konusu seçmeli ders olarak bulunmaktadır **(Çizelge 4)**. Gazi Üniversitesi, İTÜ, KTÜ, YTÜ ve ODTÜ'de birden fazla seçmeli akustik dersi bulunmaktadır.

Çizelge 4: Lisansüstü seçmeli derslerinin bulunduğu üniversiteler

Kurum	Ders Kodu	Ders Adı
Atılım Üniversitesi	MİM643	Yapı Akustiği Kuramı
Bahçeşehir Üniversitesi	IMT5437	Akustik Tasarımı
Beykent Üniversitesi	Doktora FBMI 609	Mimarlıkta Hacim Akustiği Tasarımı
Doğu Akdeniz Üniversitesi	Arch 572	İnsanın Fiziksel Çevresi İle Olan Etkileşimi
Dokuz Eylül Üniversitesi	ARC 5046	Mimaride Hacim Akustiği
Gazi Üniversitesi	6641311	Hacim Akustiği
	5251311	Mimari Akustik
		Binaların Gürültüden Korunma Yöntemleri
Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü	MİM 641	Yapılarda Gürültü Kontrolü Ve Akustik
İstanbul Kültür Üniversitesi	ARCY0233	Mimari Akustik
İstanbul Teknik Üniversitesi	CKY501E	Binalarda Ses Yalıtımları
	CKY511	Endüstri Yapılarında Ve Tesisat Sistemlerinde Gürültü Kontrolü
	CKY515	Bina Tipolojisine Bağlı Akustik Sorunlar
	CKY523	Çevre Gürültüsü Kirliliği Ve Kontrolü
	CKY510	Gürültü Kontrolü Açısından Yapı Elemanları Tasarımı
	CKY514	Çevre Ve Yapı Tasarımında Ses Kontrolü Yöntemleri
	CKY530E	Müzik ve Konuşma için Salonların Akustik Tasarımı
	Doktora YAB 614E	Açık Planlı Ofislerin Akustik Tasarımı
	Doktora YAB 601E	Radyo Ve Televizyon Stüdyolarının Akustik Tasarımı
	Doktora	Ses ve Titreşim Kontrolü

Kurum	Ders Kodu	Ders Adı
	YAB 613E	
	Doktora YAB 604E	Çevre Planlama ve Mimarlıkta ileri Akustik Projesi
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü	AR 587	Mimarlıkta Akustik
Karadeniz Teknik Üniversitesi	MIML 7410	Mimari Yapılarda Gürültü Kontrolü
	MIML 7411	Oda Akustiğinde İleri Değerlendirme Yöntemleri
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi	YF 505	Yapıda Akustik
Ortadoğu Teknik Üniversitesi	BS 575	Mimarlıkta Akustik I: Oda Akustiği
	BS 576	Mimarlıkta Akustik II: Ses Yalıtımı
Yıldız Teknik Üniversitesi	Doktora MİM6561	Uygulamalı Ses Ölçme Teknikleri
	Doktora MİM6571	Hacimlerde Anlaşılabilirlik Kuramı
	Doktora MİM6542	Stüdyolarda Akustik Tasarım
	Doktora MİM6552	Sanayide Gürültü Denetimi
	Doktora MİM6572	İleri Akustik Kuramı
	MİM5702	Kent Ve Yapı Akustiğinde Gürültü Modellemeleri
	MİM 5631	Mimari Akustik
	MİM 5641	Gürültü denetimi 1
	MİM 5651	Gürültü denetimi 2
	MİM 5661	Hacim akustiği kuramı
	MİM 5612	Oditoryum akustiği

5. SONUÇLAR

Mimarlık eğitiminin, yapılı çevrede tasarımların sosyo-kültürel, felsefi ve estetik kaygılar taşıması gerektiği kadar, kullanıcı odaklı ve sürdürülebilir olmaları gerekliliğini yeni nesil mimarlara aşılaması beklenmelidir. Bu nedenle yapı fiziği konularının mimarlık programlarında zorunlu derslerde işlenmesi önem taşımaktadır. Oysa bu çalışma kapsamında akustik için elde edilen veriler, mimarlık bölümlerindeki yönelimin aksi yönde olduğunu göstermektedir. Son dört yılda kurulmuş olan bölümlerin sadece %33'ünde zorunlu derslerde akustiğin işleniyor olması dikkat çeken bir bulgudur. Öte yandan olumlu bir gelişme ise, sürdürülebilirliğin günümüzde mimari tasarım için popüler bir konu haline gelmiş olması ve yapı fiziği konularına yeniden önem kazandırılabilmesi için gereken zeminin oluşmuş olmasıdır.

Bu çalışmada mimarlık bölümlerinde yürütülen derslerde kaç hafta mimari akustik konularının işlendiği incelenmiş kapsamlı bir durum tespiti hedeflenmiştir. Veri toplanırken içeriğe girilmemiş, ders içerikleri konu başlıkları ile incelenmemiştir. Oluşturulmuş olan veritabanının ileriki aşamalarda, Meriç ve Çalışkan **[2]** benzeri, içerikleri detaylı ele alacak çalışmalara katkı sağlaması hedeflenmiştir. İçeriğe yönelik araştırmalar, mimari akustiğin, konu başlıkları bazında

ele alınarak mimarlık lisans eğitimindeki ağırlığının belirlenmesini ve standartlaştırılmasını sağlayabilirler. Buna gereksinim duyulduğu elde edilen verilerde görülmektedir. İncelenen üniversitelerin ders programlarında, akustik eğitiminin içinde bulunduğu dersler ve haftalık süreleri farklılıklar göstermektedir.

Çalışma sadece mimari akustiği kapsamıştır. Gelecekte fiziksel çevre kontrolünde diğer konular için benzer çalışmaların yürütülmesi ise, yapı fiziğinin mimarlığın çekirdeğindeki yerinin kabul edilmesi için önemli bir adım olacaktır.

KAYNAKLAR

1. M. Ş. Sözen, "Türkiye'de Değişik kuruluşlarda Akustik ile İlgili Eğitim, Ölçme, Laboratuvar Olanakları", Türk Akustik Derneği, İstanbul, (2000).

2. I. Meriç ve M. Çalışkan, "Acoustics education for architects: Developing a base of knowledge for professional experience", Inter Noise, Innsbruck, (2013).

3. S. Karabulut, M. Çalışkan, "Mimari Akustik Eğitiminde Bilgisayar Benzetimi Yoluyla Akustik Tasarım Denemesi: 1000 Kişilik Konser Salonu Örneği "9. Ulusal Akustik Kongresi", ODTU Kültür ve Kongre Merkezi, Ankara, (2011).

4. N.T. Bayazıt, A. Hohman, ve R. Reder, "Aural Architecture or Acoustic Architect- How to Teach Acoustics to Architecture Students", Inter Noise, New York, (2012).

5. W. M. Wright, "Directory of Graduate Education in Acoustics", J. Acoust. Soc. Am. 66, 316, (1979).

6. W. M. Wright, "Directory of Graduate Education in Acoustics", J. Acoust. Soc. Am. 75, 272, (1984).

7. W. M. Wright, "Directory of Graduate Education in Acoustics", J. Acoust. Soc. Am. 101, 637, (1997).

8. Amerikan Akustik Derneği (ASA), http://asa.aip.org/asagrad/gpdir.cm.html, Erişim Tarihi: 2 Ocak 2014.

9. Acoustics.org (ASA) web sayfası, http://www.acoustics.org/org.aca.html, Erişim Tarihi: 2 Ocak 2014.

10. Mimarlık Okulları Bölüm Başkanlar İletişim Grubu, MOBBİG, http://www.mobbig.org/index.cfm?PgID=93, Erişim Tarihi: 2 Ocak 2014.

11. Mimarlık Okulları Sayısal Veritabanı, MOSAV, http://www.mobbig.org/mosav/index.cfm?PgID=10, Erişim Tarihi: 2 Ocak 2014.

MÜZİĞİN GEOMETRİSİ: ULVİ CEMAL ERKİN ÖRNEĞİ

Araş. Gör. Didem Acar[a]
Okan Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi
Tuzla Kampüsü, 34959 Akfırat-Tuzla

ÖZET

Müzik ve mimarlık işitsel ve görsel bir form yaratmak için tarih boyunca matematiksel oranları kullanmıştır. Bunun sebebi ikisinin de asırlardır süre gelen estetik arayışıdır. Matematik estetik sonuçları etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Müzisyenler soyut estetik kompozisyonlarını oluştururken belli frekans değerlerine sahip notaları kullanırlar. Bu frekans değerleri birer tamsayı ile tanımlanır. Her klasik müzik sanatçısı estetiğe ulaşabilmek için bu frekansların fraktal dizilimini kullanır. Mimarlıkta ise matematiksel ideler kullanılarak üretilen yüzlerce sessiz forma rastlarız. Bu bağlamda müzik ve mimarlığın disiplinler arası etkileşimini düşünürsek hiçbir form sessiz, hiçbir eser görünmez değildir Bu çalışmanın amacı belirlenen bir klasik müzik eserinin frekans aralıkları ve frekansların dizilimlerini dijital tasarım ortamında betimlemek ve akustik performans odaklı akıllı geometrik mimari formların ses deneyimlerini incelemektir.

Anahtar sözcükler: Müzik, Mimarlık, Tasarım, Akustik

ABSTRACT

Music and architecture have made use of mathematical proportions throughout the history for the purpose of creating acoustic and visual forms. The reason for this is the aesthetic pursuit of both disciplines since centuries. Mathematics is one of the most important factors that influence aesthetic results. While forming their abstract aesthetic compositions the musicians use the musical notes that have definite frequency values. Each of these frequency values are defined by one integer. Every classical music artist uses the fractal sequencing of these frequencies. On the other hand we encounter hundreds of silent formats which are produced using mathematical ideas. In this context if we think of the interdisciplinary interaction between music and architecture no form is silent and no works are invisible. The purpose of this study is to describe the frequency intervals of a work of classical music together with the sequencings of the frequencies in a digital design environment and examine the voice experiences of the smart geometrical architectural forms focused on acoustic performance.

Keywords: Music, Architecture , Design, Acoustic

[a] e-posta adresi: didem.acar@okan.edu.tr

1.GİRİŞ

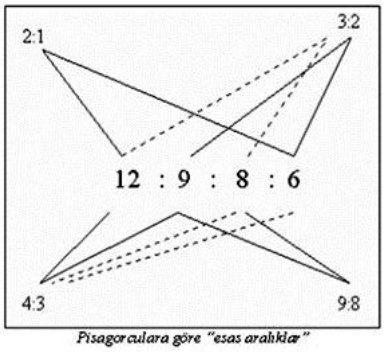
Mimarlık ve müziğin içsel ilişkisinin keşfi çok eski dönemlere dayanır. Elimize ulaşan en eski kaynak Roma Dönemi'nin ünlü mimarı Vitruvius'tandır. Vitruvius *De Architectura* kitabında mimarın kanonik ve matematiksel bağlantıların kavrayışına sahip olması için müzik bilgisinin olması gerektiğini savunmuş, tapınak ve tiyatro tasarımı için yaptığı açıklamalar boyunca, müzik teorisinin geçerliliğini kanıtlamıştır. [**1**] "Müzik likit mimarlıktır; mimarlık donmuş müziktir" diyen ünlü Alman yazar Johann Wolfgang von Goethe (1749-1832) zaman ve mekan sanatları olarak iki karşıt uçta konumlanan müzik ve mimarlığın ilişkisini vurgulamıştır. Mimarlık ve müzik, soyut ya da somut bir form oluşturmalarına rağmen asırlar boyunca matematiği kullanmışlardır. Bu çalışmada, müzikal formların biçimsel betimlemesiyle, üretken bir mimari form oluşturulacaktır. Form için seçilen arazi Çanakkale-Bursa karayolunun Lapseki İlçesi girişinde yer alan, karayolu ve deniz bağlantısı olması sebebiyle, üç farklı ses deneyimine imkan tanıyan bir fabrika binası arazisidir. Üretilecek formun bu üç farklı ses deneyimini yansıtması beklenirken, seçilen müzik parçasıyla ruhsal bağının kurulabilmesi hedeflenmektedir. Bu bağlamda araştırma, ruhsal bağın kurulabilmesi için gerekli olan ortak noktaların saptanmasıyla başlayacaktır.

2. MÜZİK VE MATEMATİK

Tarihin her döneminde müzik sayısal değerleri ve matematiği içinde barındırmıştır. Müzik hiçbir sanat dalına benzemez. Soyut bir kavramdır, diğer sanat dalları gibi başka şeyleri taklit etmeye ve onlarla rekabete girmeye ihtiyaç duymaz. Kendi kendini taklit eder, içinde tekrarlar barındırır, insan algısını şaşırtacak, hayrete düşürecek yoğunluk ve büyüklüğün fiziksel efektlerini uygular. Müziğin matematikle olan ilişkisinin varlığı çok gerilere, M.Ö. 500 lü yıllara Pisagor komasına ve ritmin keşfine dayanmaktadır.

2.1. Pisagor koması: (MÖ 570 - MÖ 495)

Efsaneye göre, Pisagor elinde çekiçle çalışan demircilere rastlar. Çekiçten çıkan sesler birbirleriyle çok uyumludur. Pisagor çekiçleri tarttığında ağırlıklarının birbiri içinde bir orana sahip olduğunu fark eder.(12:9:8:6).O dönemde bunun frekans aralıkları olabileceği bilinmediğinden frekans ve matematiğin ilişkisi kurulamamıştır. Fakat Pisagorcular (12:9:8:6) oranlarından türettikleri bağıntıyı (2:1), (3:2), (4:3) ve (9:8) oranlarını müzikteki esas aralıklar olarak kabul etmişlerdir (Şekil 1).



Şekil 1: Pisagorculara göre "esas aralıklar"

Pisagor ve onun düşüncesini taşıyanlar, sesin, çekilen telin uzunluğuna bağlı olduğunu fark ederek, müzikte armoni ile tamsayılar arasındaki ilişkiyi kurmuşlardır. Matematikçi Cihan ORHAN'nın araştırmasına göre uzunlukları tamsayı oranlarında olan gergin tellerin armonik sesler verdiği görülmüştür. Çekilen tellerin her armonik bileşimi tamsayıların oranı olarak gösterilebilir. Örneğin, do sesini çıkaran bir telin uzunluğunun 16/15'i si sesini verirken 6/5'i ise la sesi; 4/3'ü sol sesini; 3/2'si fa sesini; 8/5'i mi sesini; 16/9'u ise re sesini verir. Uzunluklar arasındaki bu bağıntı frekans değerlerinde de mevcuttur. Bu nedenle iki frekansı bir arada duymanın, iki tamsayıyı bir arada duymak ve bu iki sayı arasındaki oranı algılamaktan başka bir şey olmadığı belirtilmektedir. [**2**]

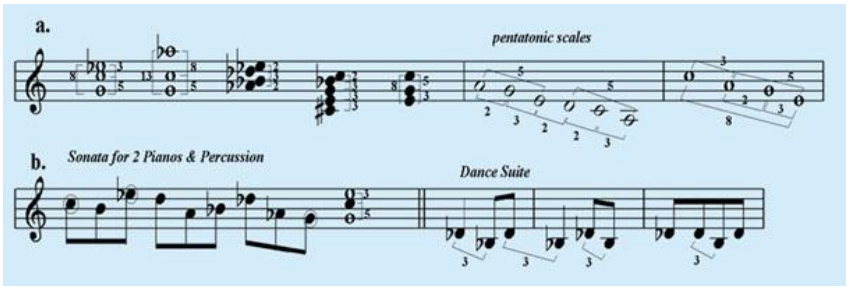
2.2. Ritim

Ritim duygusunun temelleri, ilk yaşama algısı olan kalp ritmi ile atılmakta ve insanoğlu yaratılışından itibaren çevresindeki sesleri işiterek ritim duygusunu geliştirmektedir. Yağmurun sesi, rüzgarın sesi ya da dalgaların sesi olabilen bu seslerle oluşan ritim duygusu bilinçli ya da bilinçsiz görsel ve işitsel belleğimizi etkiler. Görsel ve işitsel tasarımcının doğa kaynaklı bir tasarım anlayışını benimsemesi, her ikisini de ortak bir paydada buluşturur. Bu ritim anlayışı 18. yüzyılın başlarına bakıldığında barok dönemin ünlü bestecilerinden Johann Sebastian BACH'a, bugün ki sistemde piyano akortçularının saatlerce uğraştıkları irrasyonel frekans oranlarıyla, "iyi düzenlenmiş klavye" adını verdiği ünlü 48 Prelüd ve Füg'ü yazma olanağını sağlamıştır. **[3]**

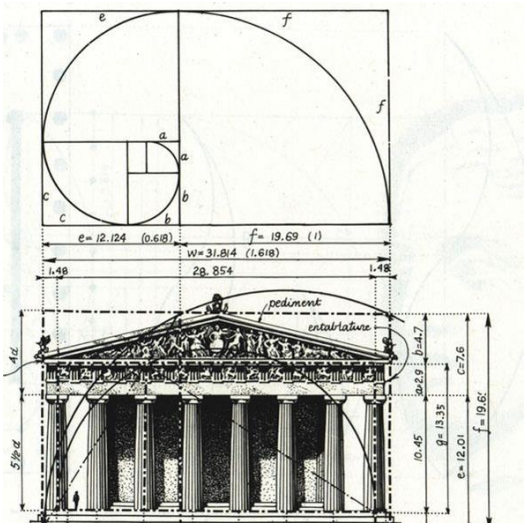
K.J. Hsü ve A. J. Hsü, Bach müziği hakkında yaptıkları araştırmalar sonucunda birbirini izleyen akustik frekans aralıkları arasında fraktal bir dağılım bulmuşlardır. Bach'ın Toccatasının adagio bölümü incelemeye alındığında bu fraktal bir dağılımın var olduğu açıkça görülmektedir. **[4]**

3. MİMARLIK VE MÜZİĞİN ORTAK NOKTASI 'ALTIN ORAN'

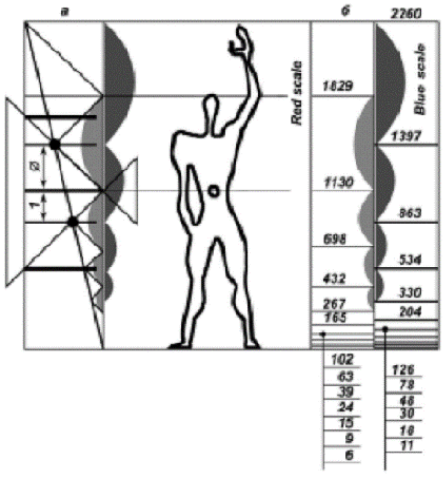
Çok sayıda kişi sezgisel olarak matematik ve müzik arasında bir ilişki olduğunu söylemektedir. Müzik teorisyenleri, müziği anlamak için çoğu kez matematik kullanmışlardır. **[5]** Tarihte birçok bestecide Altın oran ile Fibonacci sayılarını kullanmıştır. Matematiğin tanınmış oranı olan ve doğada bir güzellik ölçütü olarak belirtilen 1, 618... sayısı ile ifade edilen *"Altın Oran"* müzikte ve mimaride yaygın etkiye sahiptir. Altın oran; matematik ve sanatta, bir bütünün parçaları arasında gözlemlenen, uyum açısından en yetkin boyutları verdiği sanılan geometrik ve sayısal bir oran bağıntısıdır. Eski Mısırlılar ve Yunanlılar tarafından keşfedilmiş, mimaride ve sanatta kullanılmıştır. 1,1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144,,, sayılarının oluşturduğu diziye *"Fibonacci Dizisi"* denmekte ve bu dizi yaşam, güzellik ve sanatsal kavramların oluşturulmasında ortaya çıkmaktadır. Ardışık iki sayının toplamı üçüncü sayıyı vermektedir. Erno Lendvai, Béla Bartok'un müziğinde yaylı Çalgılar, Perküsyon semavî ve diğer eserleri için Fibonacci sayıları ve altın oranın bulunduğunu iddia etmiştir. **[6]** Bartok'un bestelerinde Fibonacci sayılarının kabul edilebilir olduğu görülebilmektedir (**Şekil 2**). Başta rasgele bir dağılım olarak görülsede, sayılar, sırasıyla, yüzde 30 ve 67 zaman aralıkları ile meydana gelmekte; bu da Lendvai' nin Bartok müziği araştırmasının doğruluğunu kanıtlar niteliktedir. Altın oran ve Fibonacci sayıları Bartok Müziğinde kasıtlı olarak mı kullanılmıştır bilinmemekle birlikte, Le Corbusier, Andre Villon ve Gotik mimarlar tarafından bilinçli olarak kullanılmıştır. **(Şekil 3, Şekil 4)**



Şekil 2:Béla Bartok ve altın oran



Şekil 3: Parthenon Altın Orana sahip olduğu bilinmektedir



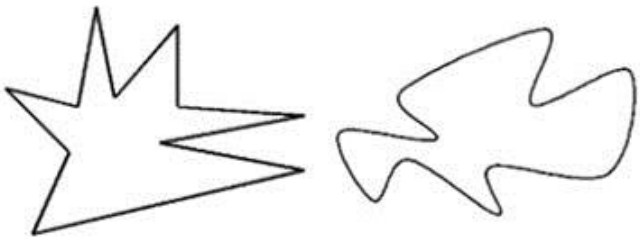
Şekil 4: a - Altın oranın sürekli bölünme şeması.
b - İrrasyonel terazi değerlerinin yaklaştırılması sonucu elde edilmiş integral değerli ölçekler.

4. SEÇİLMİŞ BİR MÜZİK ESERİ İÇİN FORM ÜRETİMİ

Mimari tasarımda form üretimi için çeşitli yaklaşımlar mevcuttur. Müzikte var olan ritmin ve bu ritmin özelliklerinin yeni formların oluşturulmasında kullanılması, tasarımı destekleyen çözüm arayışlarına yön verecek bir yaklaşım olabilir. Çalışmanın bu bölümünde mevcut bir müzik eserine ait frekans değerlerinin geometrik kurgusu incelenerek, yeni tasarımların üretilmesinde yol gösterici olabilecek fraktal geometriye dayalı bir model oluşturulacak ve bu modelin ses deneyimleri incelenecektir. Modelin oluşturulmasında aşağıdaki yöntem izlenilmiştir.

4.1. Sinestezi

İşitsel bir formun görsel bir form oluşturması sürecinde karşımıza "sinestezi" kavramı çıkmaktadır. Sinestezi kelimesi Yunanca da syn(birlikte) ve aesthesis (algı/his/duyum) kelimelerinin birleşmesinden oluşan ve synaisthesia; birleşik his/birleşik duyum anlamına gelen bir kelimedir. Daha kolay bir açıklamayla bir duyunun başka bir duyuyu tetiklemesidir. Bilim adamları ise sinestezya'yı hayal gücü normalin üzerinde çalışan bireysel bir yetenek olarak tanımlamaktadır. Beyindeki duyu alanları arasındaki yoğun bağların, komşu duyu alanlarının, genetik yaratıcılığa bağlı olarak, birlikte çalışması sonucu görsel uyarının ses duymaya ya da işitilen bir müziğin renk olarak görülmesine yol açmasıdır. F. Taylan Erder, sinestezya yeteneğinin kişiye has bir tepki oluşu nedeniyle, yeni bir sanatsal yaratıya, soyut resim ya da kinetik sanata sağlam temel olamayacağı söylemiştir. Nietzsche, şiirden 'zincirler içinde dans ' olarak söz etmiştir. Kandinsky'nin resimleri rengarenk notalardır. **[7]** Üretilen mimari form hem görsel hemde işitsel –sinestezik- bir mekan olacağı için Wolfgang Köhler'in 1929 da yaptığı kiki ve bouba araştırması iki grup arasında yapılmış, gruplara sorulan "Hangisi bouba hangisi kiki?" sorusuna %95 %98 oranında sağdaki bouba ve soldaki kiki yanıtı alınmıştır. **(Şekil 5)**

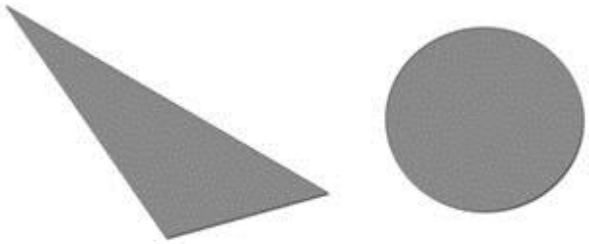


Şekil 5: Test için kullanılan kiki ve bouba resmi

4.2. Form Üretimi

Çalışma kapsamında Bela Bartok'un Türk halk müziği hakkında yaptığı araştırmalar ışığında, bestelerinde geleneksel Türk müziğinin makamsal ve ritmik gereçlerini başarıyla kullanmış türk senfonik müzik bestecisi Ulvi Cemal ERKİN in bestesi olan Piano Sonata - 1st Mouvement (Allegro) seçilmiştir. Projenin gelişim sürecinde Wolfgang Köhler'in yaptığı kiki-bouba effect'e benzer bir yöntem izlenmiştir. Yapılan anketlere göre müzisyenlerden ve mimarlardan oluşan 20 kişilik bir gruba şekillerden hangisinin parçayı tanımladığı sorulduğunda; %95 oranında "soldaki

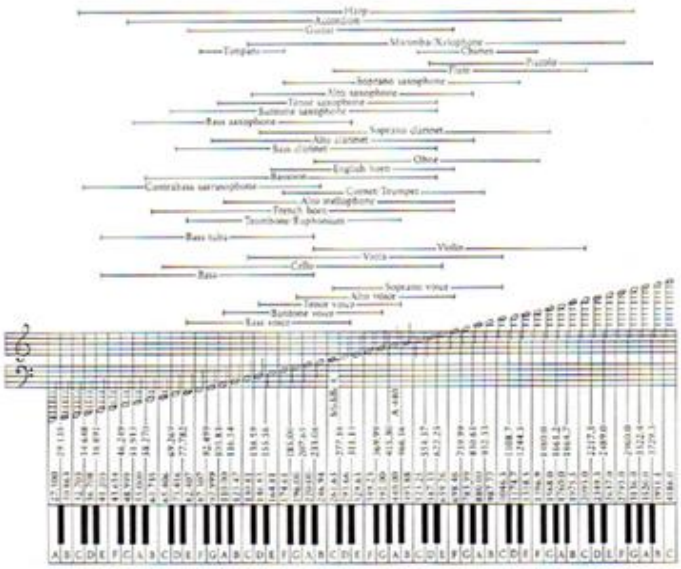
şekil" cevabı alınmıştır. **(Şekil 6)** Ulaşılan bu sonuçtan sonra form üretimi iki boyutlu formların oluşması ve üç boyutlu formun oluşması olmak üzere iki kısımda incelenecektir.



Şekil 6: Müzik parçasını tanımlaması öngörülen şekilsel ifadeler

4.2.1. İki Boyutlu Formların Oluşturulması

Yapı strüktürünü oluşturmak için Prof. Dr. Cihan Orhan'ın "…iki notayı bir arada duymak, iki frekansı ya da iki sayıyı ve bu iki sayı arasındaki oranı algılamaktan başka bir şey değildir." cümlesinden yola çıkılmıştır. Bu yoruma göre bir parçayı algılamak aslında notaların frekans değerlerini ve aralarındaki fraktal ilişkiyi algılamaktır. Her müzik enstrümanının belli bir frekans aralığı vardır. **(Şekil 7)**



Şekil 7: Çeşitli müzik aletlerinin frekans aralığı

İki boyutlu formların oluşturulmasında kullanılan yöntem ilk olarak her ölçü çizgisinin bitimine kadar olan notaların analiz edilmesiyle başlamıştır. **(Şekil 8**) Eser ilk ölçü çizgisinden başlayarak 1'den 110'a kadar numaralandırılmıştır. Aynı ölçü çizgisinde olan sağ ve sol el frekans değerleri büyükten küçüğe doğru alt alta kutulara yazılmıştır. Elde edilen frekans değerleri 3 boyutlu formları oluşturmak için veri olarak kullanılmıştır.

SAĞ EL

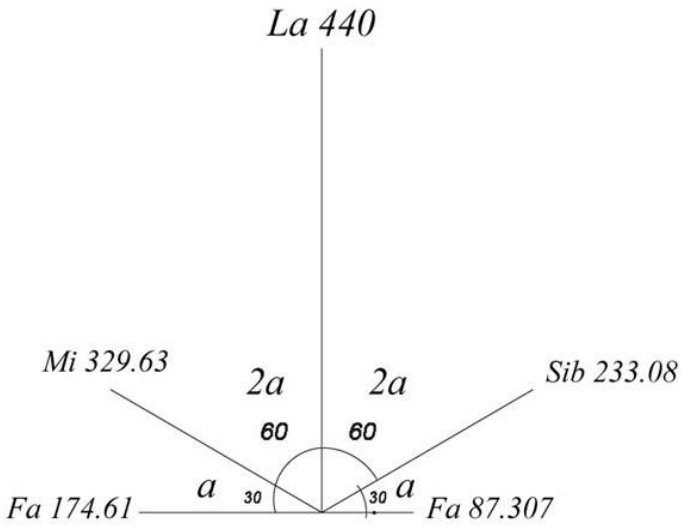
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
LA-440.000		Sİ-493.88	RE-587.33	DO#-554.37	RE-587.33	Mİ-659.25	Mİ-698.46	FA#-739.99	SOL-830.61
Mİ-329.63	SOL-392.00	LA-440.00	Sİ-493.25	Sİ-493.25	Sİ-493.25	RE-587.33	RE-587.33	RE-587.33	RE-587.33
Sib-233.08	LA-220.00	Mİ-329.63 RE-293.66	Mİ-329.63	Mİ-329.63 RE-293.66	Mİ-329.63	Mİ-329.63 FA#369.99	SOL-392.00 FA-349.23	Mİ-329.63 RE-293.67	FA#369.99 SOL-392.00

SOL EL

FA-174.61	Mİ-164.81	RE-146.83	DO#-138.59	Sİ-123.47	LA-110.00	SOL-97.999	FA#-92.499	Mİ-82.407	RE-73.416	DO-65.406
FA-87.307	Mİ-82.407	RE-73.416	DO#-69.296	Sİ-61.735	LA-55.00	SOL-48.999	FA#-46.249	Mİ-41.203	RE-36.708	DO-32.703

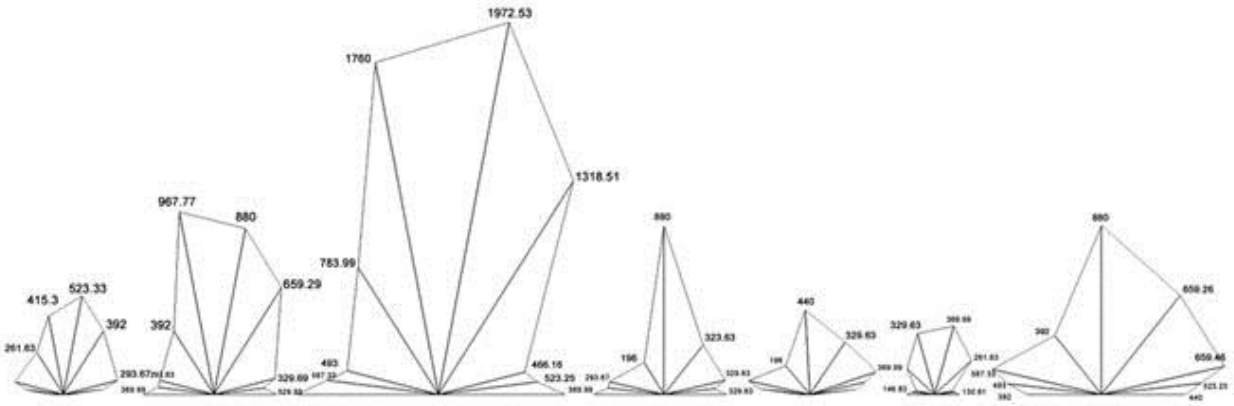
Şekil 8: Frekans Analizleri

Analizlere baktığımızda 11. bölüm aynı anda basılan 1 vuruşluk dörtlük nota "la" notası 440 Hz, ½ vuruşluk sekizlik nota mi 329.63 Hz, Sib 233.63 Hz, fa 174.61 Hz ve fa 87.307 Hz oluşmaktadır. Notaların frekans değerleri 0 noktasından çıkan doğruların boylarını verecektir. **(Şekil 8)** Üç boyutlu şekillerde vuruş sayısını görsel olarak algılayabilmemiz için; a açısı her vuruşu ifade etmek üzere 180/Vuruş sayısı doğrular arasındaki açıyı belirleyecektir. Aynı formülü 11. bölüm için uygulayacak olursak; (Toplam vuruş sayısı: 1+ ½ + ½ + ½ + ½ = 3 tür.) 180/3=60 derecedir. İşitsel formda la notasının nota vuruş sayısından dolayı daha baskın olması, görsel olarak da baskıyı yaratmalıdır. İşte bu nedenle 60 derece la notasının mi ve si notasına olan açıdır. Yarım vuruşluk ses olan sib ve fanın arasındaki açı ise a/2=30 derecedir.



Şekil 8: 11. Bölüm 2D şekli

Arazi ile bağımsız olarak oluşturulan bu geometrik formların birleştirilmesiyle II boyutlu formlar oluşturulmuştur. Aşağıda aynı yöntemle oluşmuş diğer şekiller verilmiştir. **(Şekil 9)**



Şekil 9: Frekans değerlerinden oluşan 2D şekiller

4.2.2. Üç Boyutlu Formun Oluşturulması

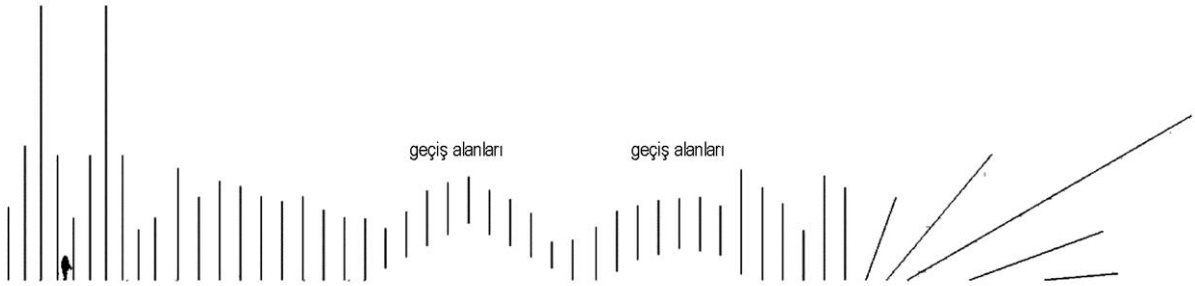
Üçboyutlu formların oluşturulmasında karşımıza "tempo" kavramı çıkmaktadır. Tempo müzikte bir parçanın yorumlanma hızıdır. Duyumun önemli bir bileşenlerinden olan tempo, bir müzik parçasının icra zorluğunun ve eserle aktarılmak istenilen ruh halinin de belirleyicisidir. Bir müzik eserine ait tempo genellikle parçanın başında yer alır. Modern müzikte sıklıkla dakikadaki vuruş sayısı (ingilizcede bpm veya beats per minute) ile belirlenir. Belirli bir nota değerini ve bu değerin bir dakikada kaç kere tekrarlanması gerektiğini gösteren "♪=120" veya sadece vuruş sayısını belirten "80 bpm" vb. kullanılır. Bu değer büyüdükçe çalınması gereken nota sayısı artacağından parçanın hızında artmış olur. Bu hızın artışı insanlar üzerinde farklı etkiler doğurmaktadır. Klasik batı müziğinde tempo çoğu italyanca olan terimlerle ifade edilir. Bu terimler 3 boyutlu formların oluşturulmasında kullanılacak, II boyutlu öğelerimizin diziliminde arasındaki mesafeleri ifade edecektir.

Ulvi Cemal ERKİN örneğine baktığımızda, eserin temposu "Allegro" dur. Allegro hızlı bir icrayı vurgularken aynı zamanda keyifli ve neşeli bir ruh halini ifade etmektedir. Tempo terimine baktığımızda her bir terim için II boyutlu öğeler arasında kullanılacak mesafe şekil 10 daki tabloda gösterilmektedir.

Prestissimo - Aşırı hızlı (200 - 208 bpm)	*60 cm*
Vivacissimo - Çok hızlı ve canlı	*75 cm*
Presto - Çok hızlı (168 - 200 bpm)	*90 cm*
Allegrissimo - Çok hızlı	*105 cm*
Vivo - Canlı ve hızlı	*120 cm*
Vivace - Canlı ve hızlı (~140 bpm)	*135 cm*
Allegro - Hızlı ve net (120 - 168 bpm)	*150 cm*
Allegro Moderato - Orta derecede neşeli ve çabuk	*165 cm*

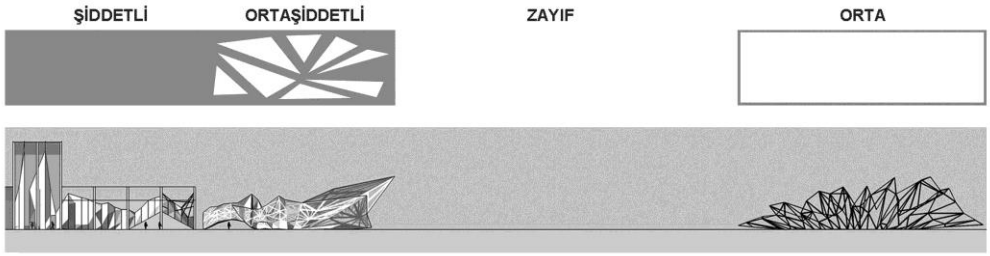
Şekil 10: Tempoya göre II boyutlar arasında mesafe

II boyutlu şekiller arasında uygulanacak mesafe 150 cm olarak düşünülmüştür. Bmp sayısı ile iki boyutlu öğeler arasında görsel etkinin doğru şekilde verilmesi için ters orantı vardır. Düz ve belli bir aks üzerinde yerleştirilen öğeler şekil 11 deki gibidir.



Şekil 11: 2D öğelerin yerleşimi

Biçimi dördüncü boyuta taşıma sürecinde, formun strüktürünü oluşturan öğelerimiz bestede olduğu gibi birbirine bağlanmıştır. Bu aşamada sinestezi kısmında kararlaştırılan basit bir geometrik formdan faydalanılmıştır. Arazideki geçiş alanlarının insan ölçeğine uygun şekilde yerden koparılması planlanmıştır. Üretilen formda bestenin şiddetli kısımları dolu, orta şiddetteki kısımları yarı-boş, zayıf –analize göre hiçbir şekil oluşmayan eslerden oluşan kısım- boş, orta bölüm yalnızca strüktürden oluşacak şekilde düzenlenmiştir. **(Şekil 11)** Oluşan biçimin 3D modeli yapılmıştır. **(Şekil 12)**



Şekil 11: Yüzeylerin oluşumu



Şekil 12: 3D model

4. SONUÇLAR

Mimari form arayışlarının ön tasarım aşaması için yol gösterici olarak geliştirilen model, müzikal formların biçimsel bir betimlemesi niteliğindedir. Üretken bir yaklaşımla oluşturulan bu form mimari bir yapı olabilir. Geliştirilen model örnek bir proje bağlamında uygulanmıştır. Oluşan yapı; eserle mimari arasındaki ruhsal bağı kurarken topografyanın özgün dokusal dilinin de kullanılmasıyla form arayışı bağlamında yeni tasarım önerilerinde kullanılabilecek benzersiz bir yöntem sunmuştur.

Mimarlık ve müzikteki gibi disiplinler arası etkileşimin, tasarımcının farklı algı, sezi, duygularına hitap edeceği ve tasarımcıya farklı sonuçlar getireceği kabul edilmiştir. Hiçbir mimari eser sessiz değildir. Bu çalışmada bunu destekleyen bir tasarım anlayışı geliştirilmiş gelecek çalışmalara bir temel hazırlanmıştır. Görme ve işitme duyuları aynı anda kullanılması, eserlerin daha kuvvetli algılanmasını sağlamıştır. Bir sanat eserinin insan duygularının hepsine hitap ediyor olması, geleneksel tasarım düşüncesini ortadan kaldırarak 4 boyutlu mimari yapıların oluşmasına zemin hazırlayabilir.

Bununla birlikte çalışmanın son aşaması olan formların ses deneyimlerinin incelenmesi müzisyenin aksine malzeme ve konstrüksiyon ile uğraşan mimarın tecrübelerini birleştirmesi formların akustik tasarım potansiyellerinin araştırılması için önemli bir başlangıçtır. Dikkate alalım ya da almayalım mimariyi deneyimlemenin en önemli parçası da sestir. Fraktal odaklı oluşturulan bu formların ses deneyimlerinin incelenmesinin nedeni de budur. Deneyimleyici, mekan ve müziğin ilişkisini kurarken, mekanın ses atmosferini de deneyimleyerek bu bağı kuvvetlendirmelidir.

KAYNAKLAR

1.Vitruvius “Mimarlık Üzerine On Kitap”, (1998), pp: 7, 102-120

2. C. Orhan “Matematik ve Müzik”, Matematik Dünyası, (1), (1995), pp: 6-7

3. A. Büke “Bach Yaşamı ve Eserleri”, (2001), pp: 349

4. K. J. Hsü ve A. J. Hsü “Proc Nalt Acad Sci USA”, 87 (3), (1990) pp: 938-941

5. D. Wright “Mathematics and Music”, American Mathematical Society, (2006)

6. E. Lendvai “Bela Bartok: An Analysis of His Music”, (1991) pp:150-167

7. F. Taylan Erder “Mavi Nokta e-dergi”, 961 (2010)

TOPLU KONUT YERLEŞİMLERİNDE, RÜZGÂR VE GÜRÜLTÜ AÇISINDAN UYGUN KULLANIM ALANLARININ BELİRLENMESİ

Araş.Gör. Fatih Kiraz[a]
Prof. Dr. Gülay Zorer Gedik[b]
Prof. Dr. Neşe Yüğrük Akdağ[c]
Mim. Raşide Çaçan[d]
Yrd. Doç. Dr. Bekir Şener[e]
Erciyes Üniversitesi, Kayseri[a]
YTÜ, Beşiktaş, İstanbul[b,c,d,e]

ÖZET

Günümüzde açık ve kapalı alanların tasarımında rüzgâr ve gürültü açısından gereken ön analizler yapılmamakta ve tasarıma önlemler yeterince yansıtılmamaktadır. Toplu konutlarda yılın büyük bir bölümünde rüzgâr ve gürültü nedeniyle balkon, teras, bahçe, yüzme havuzu gibi açık ortak kullanım alanlarında kullanıcı konforu bozulmaktadır. Rüzgar ve gürültü açısından tasarım aşamasında fiziksel çevre verilerini dikkate alarak yapı modellemesinin sayısal ve/veya deneysel olarak sınanması tasarımda blokların biçimlenişini doğrudan etkiler. Rüzgâr ve gürültü denetimi açısından toplu konutlar için en uygun biçimleniş ve yerleşimleri belirleyerek, tasarımcıya rehberlik edecek bir yöntem oluşturmak amacıyla, Yıldız Teknik Üniversitesi'nde TÜBİTAK destekli araştırma projesi kapsamında çalışmalar devam etmektedir. Bu bildiri kapsamında İstanbul ili örneğinde, rüzgâr ve gürültü açısından karşılaştırmalı bir çalışmayla maksimum konforlu kullanım alanı oluşturacak tasarım biçimlenişlerini ortaya koymak amaçlanmaktadır.

Anahtar sözcükler: Toplu konutlar, Gürültü, Rüzgar, Optimum alan

ABSTRACT

In recent times, pre-analysis and necessary precautions and measures on wind and noises are ignored and cannot be reflected in design process of indoor and outdoor spaces. In mass housing apartments, the comfort and quality of living conditions decrease due to the wind and noise level especially in balconies, terraces, gardens and swimming pools etc. The quantitatively and empirically testing of building models according to the physical conditions in regard to the wind and noise parameters directly affect the formation of building blocks in design process. In Yıldız Technical University, a research project supported by TUBITAK is going on in order to determine the most suitable settlement formations and to develop a methodology for a design guide to deal with the controlling of the wind and noise conditions. This paper aims to present spatial formation solutions to provide usage areas in maximum comfort level due to the conditions of different climate zones and different building orientations in terms of wind and noise in Istanbul case.

Key words: Mass-Housing, Noise, Wind, Optimum area

[a] e-posta adresi: kirazmim@gmail.com
[b] e-posta adresi: gzorer@hotmail.com
[c] e-posta adresi: neseakdag@yahoo.com
[d] e-posta adresi: rasidecacan@gmail.com
[e] e-posta adresi: brsener@gmail.com

1.GİRİŞ

Tasarım ve planlama sürecinde önem verilmesi gereken fiziksel çevre etkenlerinden olan rüzgâr ve gürültü, kentsel alanda ciddi sorunlara neden olmaktadır. Rüzgâr ve gürültü, insan sağlığı ve yaşam konforu üzerinde birçok olumsuz etkiye sahiptir. Günümüzde toplum ve çevre sağlığını doğrudan etkileyen sağlıksız kentler ve yapılar, rüzgâr ve gürültü konusuna yeterince önem verilmemesinin bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır.

Hızlı nüfus artışı ve kentleşmeye bağlı olarak artan barınma ihtiyacını, kısa sürede ve ekonomik şekilde karşılamak üzere toplu konut uygulamalarının sayısı her geçen gün daha da artmaktadır. Günümüz toplu konut alanlarında, imar kanunlarına uygunluk dışında diğer fiziksel çevre etkenlerine yönelik olarak etkin bir denetleme yapılmadığı için farklı sorunlara sahip uygulama örnekleri ortaya çıkmaktadır.

Planlama çalışmalarında yapılaşma için seçilen bölgelerin rüzgâr özelliklerine ve oluşabilecek gürültü kaynakları ile etkileşimine, bir tasarım ölçütü olarak yeterince önem verilmemesi sonucu rüzgâr ve gürültü açısından konforsuz şartlara sahip toplu konut alanları oluşmaktadır. Toplu konut alanlarında rüzgâr ve gürültüden kaynaklanan başlıca sorunlar arasında rüzgâr nedeniyle açık-yarı açık alanların, balkon ve terasların kullanılamaması, doğal havalandırma sağlamak için pencerelerin açılamaması, yapı içinde ve yapı dışında gürültü kirliliği nedeniyle fiziksel ve psikolojik rahatsızlıklar yer almaktadır. Yapıların yerleşimine bağlı olarak rüzgâr hızının artması ya da fazla rüzgâr alan bölgelerde uygulanmış toplu konut alanlarında özellikle sıcak mevsimlerde kullanılan açık-yarı açık ortak mekânlarda, konfor sınırlarının aşıldığı rüzgar şartları oluşmaktadır. Yapılan yanlış tasarım ve uygulamalar nedeniyle bu mekânlar kullanılamamaktadır. Etkin ve ekonomik doğal havalandırma yöntemlerinden birisi de rüzgârın yapı içine alınarak havalandırmanın sağlanmasıdır. Aşırı rüzgâr hızı ve esme sayısına bağlı olarak açılamayan pencere ve kapı boşlukları nedeniyle rüzgârın doğal havalandırmaya olan bu olumlu katkısından faydalanılamamaktadır.

Gürültü kirliliğine neden olan başlıca kaynaklardan birisi karayolu gürültüsüdür. Karayollarının yapılaşma alanına göre konumuna, araç trafiğinin yoğunluğuna dikkat edilmeden oluşturulan toplu konut alanlarında çok ciddi gürültü problemleri ortaya çıkmaktadır. Toplu konut alanlarının tasarım sürecinde; karayolu etrafında, vaziyet planı çalışmalarında, yapının doğrudan kendisinde bir önlem alınmadığı için insan sağlığı açısından olumsuz etkiye sahip yapılar inşa edilmektedir.

Rüzgâr ve gürültü denetimi açısından toplu konutlar için en uygun biçimleniş ve yerleşimleri belirleyerek, tasarımcıya rehberlik edecek bir yöntem oluşturmak amacıyla, Yıldız Teknik Üniversitesi'nde TÜBİTAK destekli araştırma projesi kapsamında çalışmalar devam etmektedir **[1]**. Yürütülen proje kapsamında; toplu konut alanlarında rüzgar ve gürültünün sorun olarak çakıştığı ortak konforsuz açık alanların belirlenerek, sorunu ortadan kaldıracak optimize edilmiş engel tasarımı yapmak, uygun toplu konut yerleşim biçimlenişlerinin oluşturulması hedeflenmektedir. Çalışma beş farklı iklim bölgesi (Soğuk, sıcak nemli ve sıcak kuru, ılıman nemli ve ılıman kuru) üzerinden devam etmektedir. Bu bildiri kapsamında İstanbul iline ait rüzgar verileri kullanılarak, farklı gürültü düzeylerinde ve faklı yerleşim biçimlenişleri durumlarında maksimum konforlu kulanım alanlarının belirlenmesi amaçlanmaktadır.

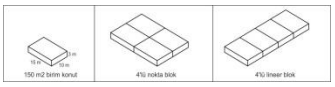
2. YÖNTEM, VERİ VE KABULLER

Çalışma yöntemi; toplu konut senaryolarının oluşturulması, rüzgar ve gürültüye ilişkin veri ve kabullerin yapılması, iki farklı simülasyon yazılımında hesapların yapılması, rüzgar ve gürültü açısından uygun konforlu alanların belirlenmesi, konforlu alanların çakıştırılarak her iki sorun için ortak konforlu alanın belirlenmesi olmak üzere 5 aşamadan oluşmaktadır.

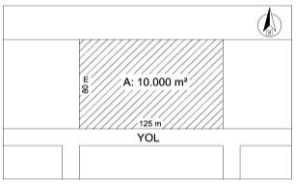
2.1. Toplu Konut Yerleşim Senaryolarının Oluşturulması

Çalışma kapsamında rüzgâr ve gürültü analizleri yapılacak olan birim konut büyüklüklerinin belirlenmesinde, TOKİ tarafından Toplu Konut Fonu'ndan toplu konut yapımcılarına konut ve altyapı inşaatları için kredi desteği sağlamada belirlenen konut alanı büyüklük üst sınırı olan 150 m² esas alınmıştır **[2]**. 150 m² olarak belirlenen birim konut en, boy ve yükseklikleri 10x15x3 m olarak kabul edilmiştir.

Birim konutların birleşim şekilleri ise nokta blok ve lineer blok şeklinde ele alınmıştır **(Şekil 1)**. Nokta bloklarda TOKİ tarafından uygulanan projelerde daha çok ekonomik nedenlerle en çok uygulanan birleşim şekli olan 4'lü birleşim seçilmiştir. Lineer bloklarda ise belirlenen arsa verilerine bağlı olarak en az 4'lü birleşimden oluşan farklı bir araya geliş şekilleri oluşturulmuştur. Yapı yükseklikleri, analiz sonuçlarını doğrudan etkileyeceği için, hesaplar dört farklı kat sayısı (3, 5, 7 ve 10 kat) için gerçekleştirilmiştir.

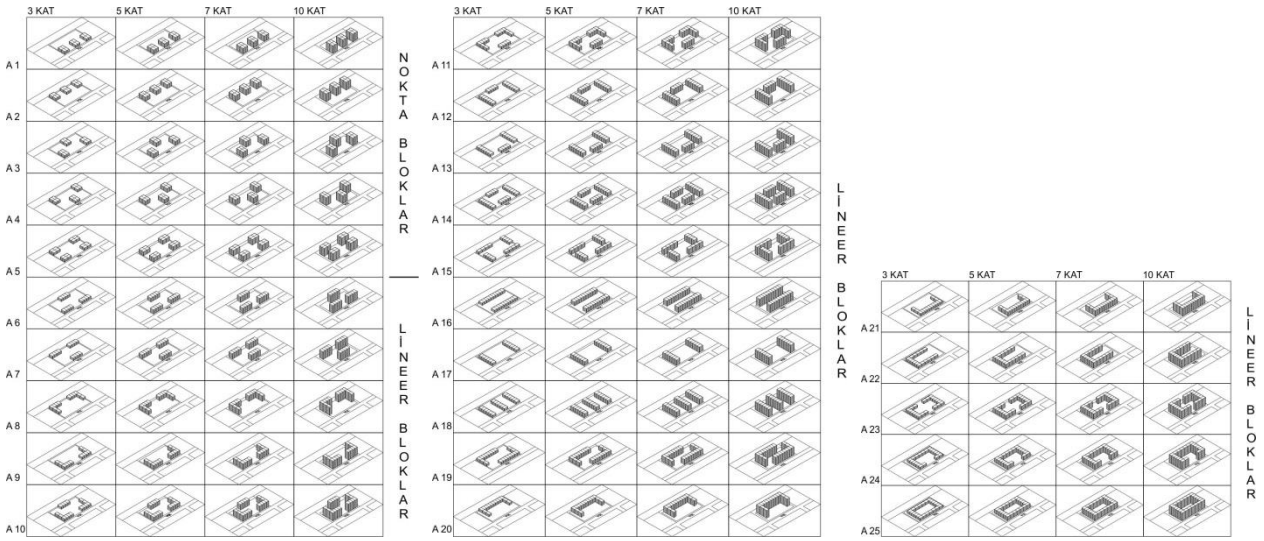


Şekil 1. Konutların birleşim şekilleri



Şekil 2. Arsanın boyut ve konumu

Çalışma alanı olarak 1 ha (10.000 m²) bir arsa varsayılmıştır **(Şekil 2)**. Belirlenen arsa büyüklüğünün en ve boy oranı ise 80x125 m olarak belirlenmiştir. Arsanın etrafında bulunabilecek yol alternatifleri tek yönde, iki yönde (kısa kenara paralel, uzun kenara paralel, kısa ve uzun kenarda), üç yönde ve dört yönde olmak üzere toplam dört şekilde olabilmektedir. Ancak rüzgâr ve gürültü analizlerini doğrudan etkilediği ve hesaplama aşamalarına sınırlılık getirmek amacıyla, arsaya göre yolun konumu uzun kenara paralel olarak tek tarafta seçilmiştir. Yapıların ön bahçe, yan bahçe ve arka bahçe mesafelerinin belirlenmesinde "Planlı Alanlar Tip İmar Yönetmeliği" nden yararlanılmıştır **[3]**. Oluşturulan 25 faklı toplu konut yerleşim senaryosu aşağıda verilmiştir **(Şekil 3)**.



Şekil 3. Toplu konut yerleşim senaryoları

2.2. Rüzgar ve Gürültüye İlişkin Veri ve Kabuller

Çalışma kapsamında gürültü ve rüzgâra ilişkin veri ve kabuller aşağıda yer almaktadır.

- Karayolundan yayılan gürültü düzeyi sırasıyla; 55-65-75-85 dBA(1 m uzakta) olarak alınmıştır.
- Yolun, yapıların güneyinde yer aldığı kabul edilmiştir.
- Yol genişliği; 55-65 dBA gürültü düzeyleri için 14 m; 75-85 dBA için 21 m'dir. Şerit genişliği 3,5 m, refüj ve kaldırım genişlikleri ise 2 m'dir.
- Zeminin ses yutuculuğu 0,60 (orta yutuculuk) olarak kabul edilmiştir.
- Simülasyonda gürültü yayılımı için kullanılan hesap yöntemi NMPB-Routes-96'dır.
- Antalya iline ait rüzgar verileri simülasyon programına aktarılmıştır.
- Hesaplamalarda ızgara aralığı 5 m, zeminden yükseklik 1.5 m olarak alınmıştır.
- Kabul edilebilir gürültü düzeyi gündüz 55 dBA, gece 45 dBA'dır [4, 5].
- Çalışmada Antalya iline ait T.C. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınan 30 yıllık, günlük ve saatlik ölçümlerle elde edilmiş rüzgar verileri kullanılmıştır [6].
- Oturma ve yürüme aktivitesi için kabul edilebilir rüzgar hızı maksimum değeri 5 m/sn olarak kabul edilmiştir [7].
- Rüzgârın kabul edilebilir hızının aşılma sıklığının yıllık saatlik yüzdesi oturma aktivitesi için F(V>5) < %5, yürüme aktivitesi için F(V>5) < %10 kabul edilmiştir. F; rüzgârın aşılma sıklığının yıllık saatlik yüzdesini ifade etmektedir [7].
- Hesaplama yüksekliği zeminden 1,5 m olarak alınmıştır.
- Rüzgâr yazılımında kullanılan veriler TAB uzantılı dosya formatında olması gerektiğinden, T.C. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınan 30 yıllık veri derlenerek bu formata dönüştürülmüştür. Türkiye'de rüzgâr ölçümleri 10 m yükseklikte yapılmaktadır. Bu nedenle ilgili yazılımda 10 m yükseklikte bir referans noktası tanımlanarak, hesaplamalar bu nokta üzerinden yapılmıştır.

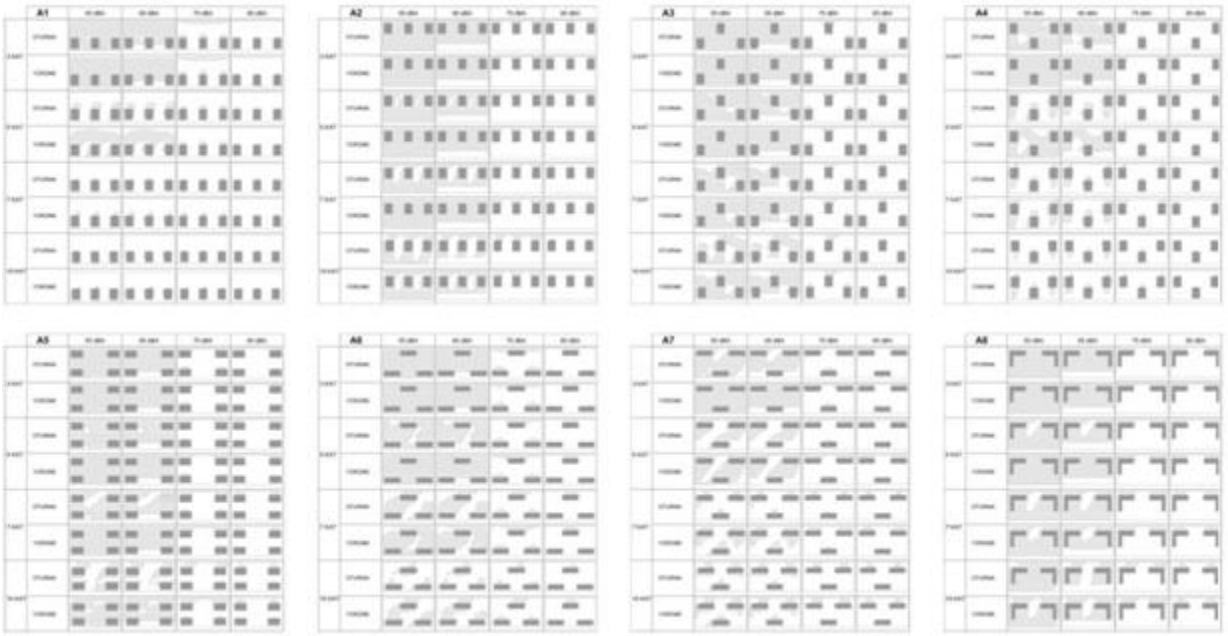
3. YERLEŞİM ALTERNATİFLERİNİN RÜZGAR VE GÜRÜLTÜ AÇISINDAN KONFORLU KULLANIM ALANLARININ BELİRLENMESİ

3.1. Rüzgar ve gürültü açısından konforlu kullanım alanlarının belirlenmesi

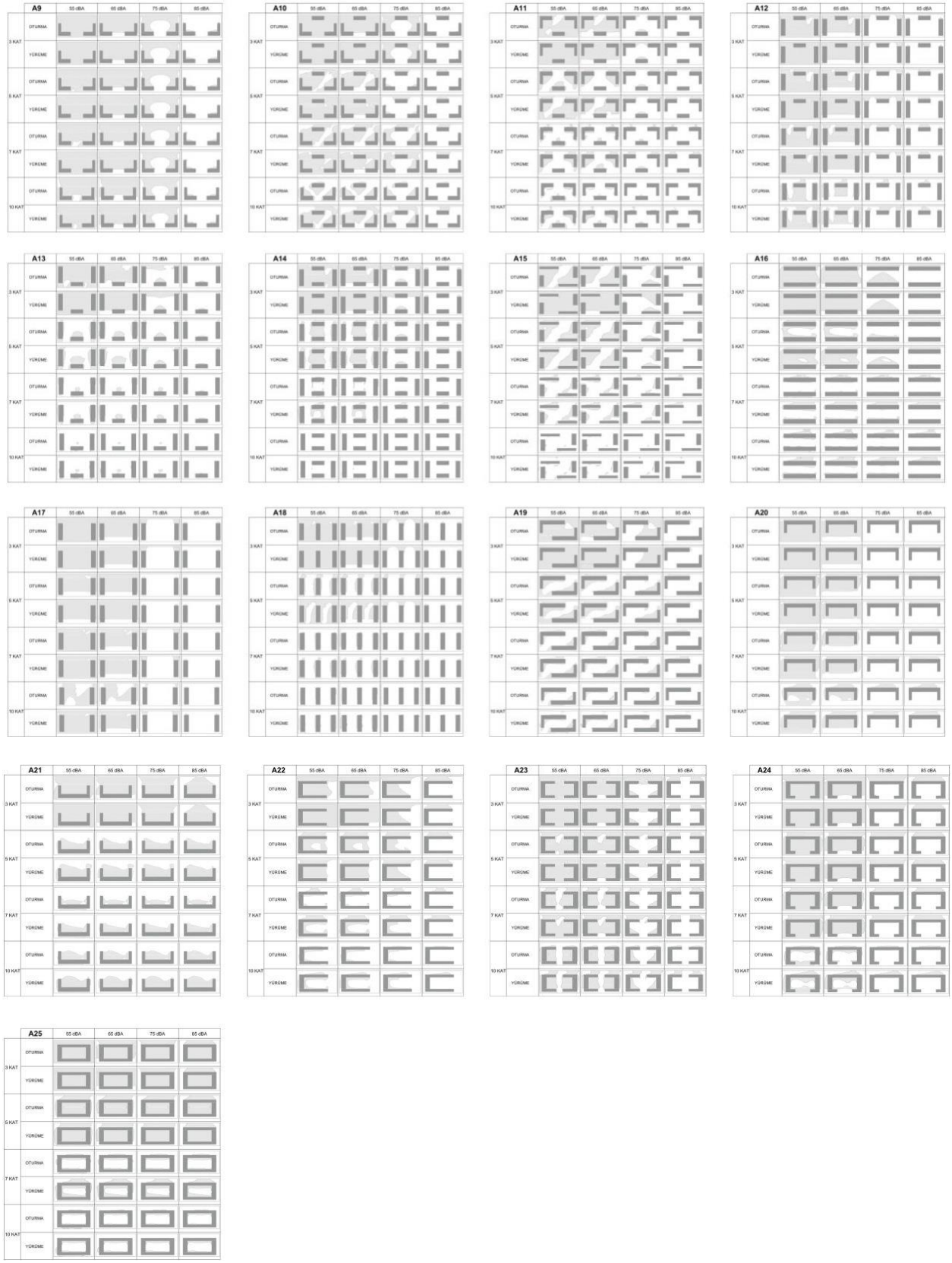
Tüm yerleşim alternatifleri için rüzgar ve gürültü açısından konforlu alanların belirlenmesinde aşağıdaki işlem adımları izlenmiştir.

- Rüzgar simülasyonu için "Urbawind" yazılımı, gürültü simülasyonu için "Soundplan" yazılımı kullanılmıştır.
- 30 yıllık rüzgar verileri uygun formata getirilip Urbawind'e girilerek rüzgar açısından konforlu alanları gösteren haritalar elde edilmiştir.
- Karayolu gürültüsü sırasıyla, 55-65-75-85 dBA alınarak gürültü haritaları hazırlanmıştır.
- Tüm sonuçlar için toplam açık alan içindeki konforlu alan yüzdelerini gösteren tablolar oluşturulmuştur.
- Gürültü ve rüzgar için oluşan haritalar çakıştırılarak, her iki etken için ortak uygun kullanım alanları belirlenmiştir. 25 yerleşim alternatifi için farklı kat yükseklikleri, gürültü düzeyleri ve etkinlik tipine göre oluşturulan konfor haritaları Şekil 4'te yer almaktadır.

25 yerleşim tipine ait rüzgar ve gürültü açısından oluşan ortak konfor haritaları üzerinden konfor yüzdeleri hesaplanarak Tablo 1'de sunulmuştur. Tablo oluşturulurken; ortak konforlu alanın, toplam arsa alanından bina oturum alanları çıkarıldıktan sonra geriye kalan açık alanlara % olarak oranı hesaplanmıştır.



Şekil 4. Rüzgar ve Gürültü Ortak Konfor Haritaları



Şekil 4. Rüzgar ve Gürültü Ortak Konfor Haritaları (devam)

Tablo 1. Rüzgar ve Gürültü Ortak Konforlu Alan Yüzde Tabloları

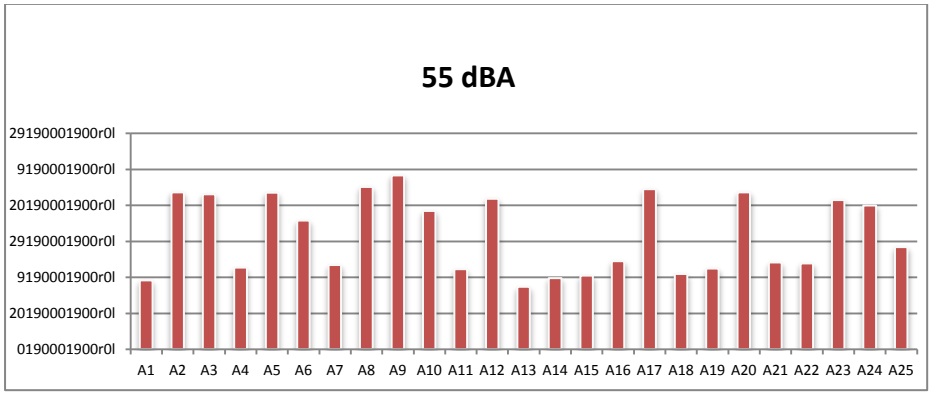
		Etkinlik Tipi							
		Oturma				Yürüme			
Yerleşim Tipi	Gürültü Düzeyi	3 kat	5 kat	7 kat	10 kat	3 kat	5 kat	7 kat	10 kat
A1	55 dBA	96	20	6	3	100	63	63	7
	65 dBA	81	14	2	1	83	55	55	3
	75 dBA	13	4	1	0	13	5	5	1
	85 dBA	1	1	1	0	1	1	1	0
A2	55 dBA	100	90	76	55	100	100	99	77
	65 dBA	71	62	49	33	71	71	71	49
	75 dBA	4	6	8	11	4	7	9	14
	85 dBA	3	3	2	2	3	3	2	3
A3	55 dBA	100	92	76	52	100	100	91	78
	65 dBA	79	70	57	37	79	79	72	59
	75 dBA	5	5	5	7	5	5	6	7
	85 dBA	1	2	2	1	1	2	2	1
A4	55 dBA	89	30	17	6	100	74	30	15
	65 dBA	65	25	14	4	76	53	23	11
	75 dBA	4	5	3	0	4	5	5	2
	85 dBA	2	2	1	0	2	2	2	1
A5	55 dBA	99	93	74	44	100	100	98	87
	65 dBA	81	77	59	36	82	81	80	71
	75 dBA	8	10	12	11	9	10	13	18
	85 dBA	3	4	5	4	3	4	5	5
A6	55 dBA	100	85	51	18	100	99	82	38
	65 dBA	86	73	42	12	86	85	69	29
	75 dBA	16	13	11	6	16	15	14	11
	85 dBA	2	3	3	2	2	3	4	3
A7	55 dBA	76	42	14	18	100	65	33	27
	65 dBA	64	38	11	14	79	54	29	22
	75 dBA	8	7	4	6	9	9	8	8
	85 dBA	4	5	3	4	4	6	6	5
A8	55 dBA	99	87	80	90	100	99	87	79
	65 dBA	70	58	80	41	72	70	58	52
	75 dBA	94	8	10	11	5	8	11	14
	85 dBA	97	6	7	6	4	6	7	7
A9	55 dBA	100	98	93	88	100	100	99	96
	65 dBA	86	85	84	80	86	85	85	85
	75 dBA	51	49	50	51	51	49	50	54
	85 dBA	3	2	2	2	3	2	2	2

		Etkinlik Tipi							
		Oturma				Yürüme			
Yerleşim Tipi	Gürültü Düzeyi	3 kat	5 kat	7 kat	10 kat	3 kat	5 kat	7 kat	10 kat
A10	55 dBA	100	71	65	33	100	98	89	60
	65 dBA	84	58	55	26	84	83	72	50
	75 dBA	44	7	29	13	44	8	41	28
	85 dBA	3	3	5	1	3	3	6	6
A11	55 dBA	82	41	13	8	100	68	26	18
	65 dBA	62	28	9	0	77	48	27	11
	75 dBA	9	8	3	0	12	10	8	2
	85 dBA	4	5	2	0	4	6	6	1
A12	55 dBA	94	89	81	45	100	100	93	68
	65 dBA	70	64	67	29	76	75	75	45
	75 dBA	10	11	13	4	11	12	14	11
	85 dBA	3	4	5	3	3	4	5	5
A13	55 dBA	92	22	6	1	100	39	14	3
	65 dBA	64	14	3	0	79	29	8	2
	75 dBA	18	6	2	0	24	7	3	1
	85 dBA	2	2	0	0	2	2	1	0
A14	55 dBA	91	40	7	0	100	55	23	0
	65 dBA	75	34	4	0	82	47	16	0
	75 dBA	22	9	1	0	24	13	4	0
	85 dBA	4	4	0	0	4	5	3	0
A15	55 dBA	67	50	18	1	100	61	28	3
	65 dBA	58	43	13	0	84	53	21	2
	75 dBA	16	14	6	0	27	16	9	1
	85 dBA	3	5	2	0	4	6	4	0
A16	55 dBA	91	41	11	15	100	79	28	28
	65 dBA	80	34	7	9	87	69	20	21
	75 dBA	35	17	5	6	35	28	16	15
	85 dBA	6	9	5	6	6	10	11	12
A17	55 dBA	100	75	97	65	100	78	99	98
	65 dBA	78	78	74	51	78	78	77	75
	75 dBA	7	1	6	3	7	1	7	6
	85 dBA	1	1	1	1	1	1	1	1
A18	55 dBA	97	31	11	5	100	62	18	11
	65 dBA	73	24	8	2	78	48	13	7
	75 dBA	13	7	1	0	14	11	3	0
	85 dBA	2	2	0	0	2	2	1	0

		Etkinlik Tipi							
		Oturma				Yürüme			
Yerleşim Tipi	Gürültü Düzeyi	3 kat	5 kat	7 kat	10 kat	3 kat	5 kat	7 kat	10 kat
A19	55 dBA	92	43	19	7	100	56	28	14
	65 dBA	75	30	12	4	100	41	19	9
	75 dBA	41	16	6	1	48	23	11	5
	85 dBA	6	8	3	0	6	8	5	2
A20	55 dBA	99	91	84	55	100	99	92	78
	65 dBA	69	63	58	36	70	69	64	53
	75 dBA	6	10	13	10	6	10	13	16
	85 dBA	6	9	12	10	6	9	12	14
A21	55 dBA	94	34	15	29	100	48	26	41
	65 dBA	84	28	12	24	89	41	21	34
	75 dBA	71	27	12	24	71	37	20	32
	85 dBA	53	26	12	24	53	34	20	32
A22	55 dBA	77	52	16	12	100	65	36	24
	65 dBA	71	45	12	8	86	59	30	19
	75 dBA	45	32	9	6	45	42	22	13
	85 dBA	14	13	6	1	14	14	11	4
A23	55 dBA	98	88	72	50	100	98	90	67
	65 dBA	84	76	63	43	85	84	76	58
	75 dBA	38	31	25	16	39	36	32	27
	85 dBA	14	15	13	3	14	15	15	11
A24	55 dBA	98	92	87	26	100	97	92	48
	65 dBA	80	74	69	13	81	78	74	32
	75 dBA	25	22	21	4	25	23	22	10
	85 dBA	19	19	17	3	19	19	19	9
A25	55 dBA	100	78	18	13	99	84	45	18
	65 dBA	84	70	13	9	87	75	38	12
	75 dBA	69	65	12	9	70	67	34	11
	85 dBA	65	63	12	9	65	65	34	11

3.2. Rüzgar ve gürültü açısından ortak konforlu kullanım alanlarının değerlendirilmesi

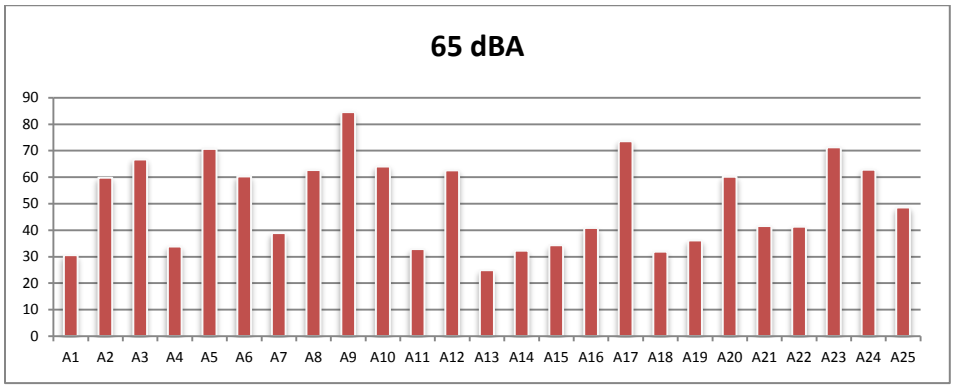
Rüzgar ve gürültü için ortak uygun kullanım alanlarının belirlendiği Tablo 1'de yer alan sonuçların genel değerlendirmesini yapmak üzere, her yerleşim alternatifi için, değişik gürültü düzeylerinde, katlara göre elde edilen sonuçların ortalaması alınmıştır. Sonuçların grafik sunumu ve değerlendirmesi aşağıda yer almaktadır.



Şekil 5. Rüzgar ve 55dBA gürültü düzeyi sonuçlarının ortalama konfor yüzdeleri

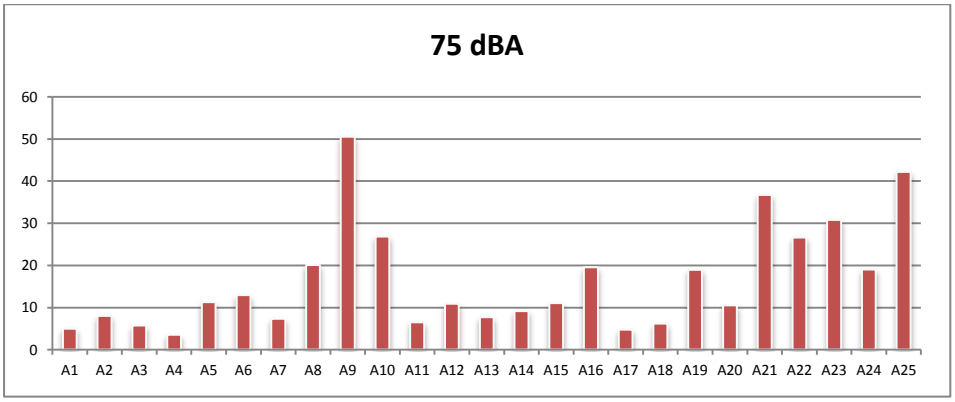
- 55 dBA gürültü düzeyi, aynı zamanda, konfor sınır değeri olduğu için tüm yerleşim alternatiflerinde %100 konforlu sonuçlar elde edilmektedir. Bu nedenle, Şekil 5'de rüzgar ve gürültü açısından ortak uygun kullanım alanlarını gösteren yüzdeler, rüzgara bağlı olarak elde edilen değerlerdir.. Görüldüğü gibi en iyi sonuçlar; L formlu alternatifler olan A9 ve A8 (yapı alanının SW-SE ya da NE-NW köşelerinin kapatıldığı) yerleşimleri ile, yola dik blokların arsanın dar kenarı boyunca duvar biçiminde düzenlendiği A17

yerleşiminde (N ve S yönlerinin tamamen boşaltıldığı rüzgar açısından kanal ve boğaz etkisi oluşturacak parça blok kullanılmayan alternatif) sağlanmaktadır. Ek olarak A20 gibi İstanbul'un hakim rüzgar yönleri olan N, NE ve NW yönlerinin sürekli duvar biçiminde kapatıldığı ve S yönünün, yol tarafının açık bırakıldığı alternatif yine rüzgar açısından oldukça yüksek performans sağlamıştır. Uygun alan yüzdesinin en düşük olduğu tipler ise; yola dik lineer bloklarla birlikte güneyde kanal etkisi oluşturacak parça blok kullanılan A13 ile, nokta blokların arsanın güneyinde sıralandığı A1 tipleridir.



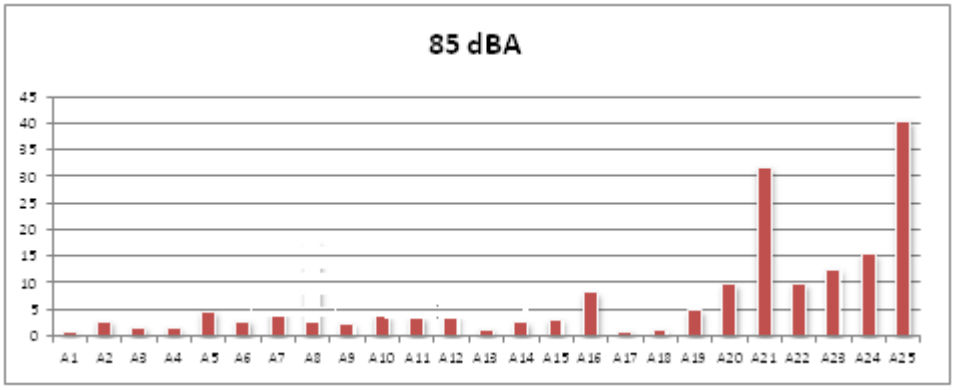
Şekil 6. Rüzgar ve 65dBA gürültü düzeyi sonuçlarının ortalama konfor yüzdeleri

- 65 dBA gürültü düzeyinde konforlu alan yüzdesi %70-88 aralığında değişmektedir. 55 dBA gürültü düzeyinde olduğu gibi, en uygun yerleşim yine A9 tipinde sağlanmaktadır. A9'dan sonra, yola dik blokların yer aldığı A17 yerleşiminde sağlanan uygun alan yüzdesi yüksektir. 55 dBA'da olduğu gibi, bu düzeyde de, konforlu alan yüzdesi, ağırlıklı olarak rüzgara bağlı olmaktadır. Ancak gürültü açısından elde edilen konfor yüzdelerinin ortak konforlu alan yüzdelerini etkilemeye başladığı görülmektedir. Örneğin 55 dBA grafiğinde rüzgar açısından konfor değeri oldukça yüksek olan A20 tipi yerleşim, konfor sıralamasında gerilerken, A23 gibi lineer duvar biçiminde yol tarafından da kapalı yerleşimler konfor yüzdesi açısından öne geçmektedir. A13 ve A1 tipleri, yine uygun alan yüzdesinin en düşük olduğu tiplerdir.



Şekil 7. Rüzgar ve 75dBA gürültü düzeyi sonuçlarının ortalama konfor yüzdeleri

- Şekil 7'de görüldüğü gibi, 55 dBA ve 65 dBA gürültü düzeylerinde olduğu gibi, 75 dBA gürültü düzeyinde de, en yüksek konfor yüzdesi, %50 ile, A9 yerleşim tipinde sağlanmaktadır. Avlulu yerleşimler olan A25 ve A21 tipleri de %42 ve %37 ile diğer yerleşimlere oranla yüksek yüzdelerin elde edildiği yerleşimlerdir. Gürültü düzeyinin artmasıyla, özellikle nokta tipli blokların yer aldığı yerleşimlerde, sağlanan ortak uygun konfor yüzdeleri önemli oranda düştüğü görülmektedir. Gürültü açısından elde edilen konfor yüzdelerinin etkilemesiyle, kuzey tarafın kapalı olduğu A20 gibi biçimlenişlerin performansı gerilerken, A21 ve A25 gibi yol tarafını tamamen kapatan avlulu tiplerin daha iyi duruma geçtiği görülmektedir.



Şekil 8. Rüzgar ve 85dBA gürültü düzeyi sonuçlarının ortalama konfor yüzdeleri

- 85 dBA gürültü düzeyinde tüm yerleşim alternatiflerinde konfor yüzdelerinde yüksek düşüş söz konusudur. Konfor yüzdeleri %1'e kadar azalma göstermiştir. Konfor yüzdesi, yol tarafını tamamen kapatan avlulu iki yerleşim alternatifi (A21 ve A25) dışındaki tüm alternatiflerde %20'nin altına inmiştir. Gürültü açısından elde edilen konfor yüzdeleri sonucu çok etkilemektedir.

Rüzgar ve gürültü açısından ortak uygun kullanım alanlarına ilişkin tüm sonuçların genel değerlendirmesi aşağıda yer almaktadır.

1- Yola dik konumda (kuzey-güney doğrultusu) blokların olduğu yerleşim seçeneklerinde konfor oranı düşmektedir. Yola paralel blokların gürültü engeli gibi davranması sonucu, yapıların arkasında konforlu alanlar artmaktadır. Bu nedenle blokların yola paralel yerleştirildiği alternatiflerde konfor değerinde iyileşme gerçekleşmektedir.
2- L-C-U formlu alternatiflerde, nokta ve diğer lineer blok düzenlerine göre daha iyi konfor sonuçları ortaya çıkmıştır. Bu durum, yerleşim formu alternatiflerinin rüzgar ve gürültü açısından oluşturduğu korunaklı alanlara bağlıdır. 85 dBA'nın altında tüm gürültü düzeylerinde, rüzgar ve gürültü açısından en başarılı performansı incelenen tipler içinde L formlu A9 oluşturmuştur. Ancak gürültü düzeyi 85 dBA olduğunda yol tarafını kapatan C-U formları olumlu durumdadır.
3- Kat yüksekliğinin artması, konfor düzeyinin azalmasına neden olmaktadır. Konfor düzeyindeki azalma; yapı yüzeylerinde oluşan yanımalar, yapı formlarının oluşturduğu dağılımlar ve yönlendirmeler sonucunda ortaya çıkmaktadır. Gürültü denetimi açısından bakıldığında bu durumun başlıca nedenleri arasında yapıların gürültü kaynağı olan karayoluna uzaklığı, birbirlerine olan mesafeleri ve yapı yüzeylerinden oluşan yansımalar sayılabilmektedir. Rüzgar açısından ise, gerek kat yüksekliğinin artmasının gerekse hakim

rüzgar yönüne göre kuzeyde veya güneyde kanal ya da boğaz etkisi oluşturabilecek yapılaşmaların konfor düzeyini oldukça düşürdüğü görülmektedir.

4. SONUÇLAR

Kullanıcı konforunu doğrudan etkileyen iki fiziksel çevre etkeni olan rüzgâr ve gürültü nedeniyle açık ve yarı açık mekânları yeterli ve etkin biçimde kullanılamamaktadır. Günümüz toplu konut alanlarında bulunan açık ve yarı açık mekânlarda da bu durum söz konusudur. Yapılaşma için seçilecek alanın belirlenmesi, yapıların iklimsel etkenlere göre yönlendirilmesi, yapı biçiminin tasarımı, diğer yapılara göre konumu gibi konularda rüzgâr ve gürültü önemli yapı fiziği bileşenleridir. İstanbul iklim verileri kullanılarak, 25 yerleşim alternatifi için yapılan çalışma sonuçlarına göre; lineer yerleşim tiplerinin nokta blok yerleşimlerden daha iyi sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır. Blok yerleşimlerinde güney yönde uzanan karayoluna paralel yerleşimler, dik yerleşim alternatiflere göre daha konforlu alanlara sahiptir. Kat yüksekliklerinin artması hem rüzgâr hem de gürültü konforunu olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle düşük kat yüksekliklerinde yapıların tercih edilmesi gerekmektedir. Hakim rüzgar yönü, yıllık esme dağılımı dikkate alınarak yapıların konumlandırılması ve biçimlenişleri belirlenmelidir.

Yapılan çalışma sonucunda; yapı biçimlenişleri, konumları, yükseklikleri gibi bileşenler aracılığıyla sağlanan konforlu açık alan performansının yeterli olmadığı görülmüştür. Bu nedenle rüzgâr ve gürültü açısından ortak konforlu alanların sağlanabilmesi için ek önlemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Yıldız Teknik Üniversitesi'nde devam etmekte olan araştırma projesi kapsamında; rüzgar ve gürültü konforu açısından optimum ortak alan yüzdesinin belirlenmesi, belirlenecek olan bu oranın sağlanamadığı yerleşim tiplerinde uygulanacak optimum rüzgar ve gürültü engeli tasarımının belirlenmesi çalışmaları yürütülmektedir. Beş iklim bölgesinin karakteristik özelliklerini gösteren farklı iller üzerinden yürütülmekte olan araştırma projesi, bu bildiride İstanbul ili için örneklendirilmiştir. Proje sonucunda ortaya konulacak veriler sayesinde, bulunulan ilin rüzgar verilerine, tasarım alanının karayoluna göre konumuna, karayolunun gürültü düzeyine bağlı olarak, tasarımlarda rüzgar ve gürültü açısından uygun biçimlenişin seçilmesi mümkün olabilecektir.

TEŞEKKÜR

Bu bildiri, TÜBİTAK 1001 projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Verilen destekten ötürü TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Zorer Gedik, G., Yüğrük Akdağ, N., Kiraz, F., Çaçan, R., Şener, B., Toplu Konut Yerleşimlerinin Rüzgar ve Gürültü Açısından Optimizasyonu, Tübitak 1001 Projesi, Pr. No: 111M560, 2012-devam ediyor.
2. Anon., T.C. Başbakanlık Toplu Konut İdaresi Başkanlığı Toplu Konut Kredileri Uygulama Yönetmeliği, Resmi Gazete:23019, 14.06.1997.
3. Anon., Planlı Alanlar Tip İmar Yönetmeliği, Resmi Gazete: 18916, 02.11.1985
4. Anon., Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, Resmi Gazete:27601, 04.06, 2010.
5. Anon., Future Noise Policy, European Commission Green Paper, Com (96), Commission of E.C., Brussels, Belgium, 1996.
6. Anon., Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Arşivi.
7. Caniot, G. , Li, W. , Dupond, G. , Validations and applications of a CFD tool dedicated to wind assessment in urban areas, 13th International Conference on Wind Energy, Amsterdam, The Netherlands, 2011.
8. SoundPLAN 7.3 kullanım klavuzu, 2013.
9. UrbaWind kullanım klavuzu, 2013.

DIŞ DUVARLARDA SICAKLIK, SU VE NEM PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Y.Doç.Dr. Filiz Umaroğulları[a]
Y.Doç.Dr. Esma Mıhlayanlar[b]
Prof.Dr. Gülay Zorer Gedik[c]
Y.Mimar Selda Hasan[d]
TÜ Mimarlık Fakültesi[a-b]
YTÜ Mimarlık Fakültesi[c]

ÖZET

Değişen iklim koşullarının etkisinde kalan bina kabuğunda dış duvar elemanlarının farklı işlevleri karşılaması gerekmektedir. Bu nedenle bina kabuğundan beklenen; çevresel faktörleri kontrol altına alıp, yapı içinde uygun yaşam konforunu en iyi şekilde sağlamasıdır. Bu durum, enerji etkin cephe, sistem ve malzemelerinin geliştirilmesine de neden olmaktadır.Yapı kabuğunu oluşturan yapı elemanlarında sıcaklık, su ve nem performansının önceden bilinmesi kullanım sırasında karşılaşılacak problemlerin çözümü açısından önemlidir. Bu amaçla bir çok simülasyon programı mevcuttur. Bu çalışmada Künzel hesaplama metodunu kullanan WUFI®2D-3 simülasyon programı kullanılarak duvar kesitlerinde, periyodik rejim şartlarına göre, ılıman nemli iklim bölgesi özelliklerini taşıyan Edirne iklim verileri kullanılarak, sıcaklık, su ve nem performansları incelenmiştir. Duvar modeli olarak ülkemizde yaygın olarak kullanıldığından betonarme iskelet taşıyıcı sistemle Tuğla, Gazbeton, Bimsblok dolgu malzemeleri seçilmiştir. Duvar kurgusu, kuzey yönünde ve 1 metre yüksekliğindedir. Yalıtımsız ve dışarıdan yalıtımlı duvarlar hesaplanmıştır. Yalıtım malzemesi olarak da EPS, XPS, MW malzemeleri ile hesaplamalar yapılmıştır. Çalışma ile hedeflenen duvar konstrüksiyonlarında tasarım aşamasında hangi malzemelerin yan yana gelmesi gerektiği, oluşturulan kesitlerdeki sıcaklık, su miktarı ve nem performansının önceden bilinmesi gerektiğidir.

Anahtar sözcükler: Yapı fiziği, ısı akısı, buhar geçişi, yapı kabuğu

ABSTRACT

On the building envelope which is under the influence of changing climatic conditions, it is expected from the outer wall elements to meet the different functions. Therefore, expected from the building shell is to take control of environmental factors and to provide suitable life comfort in the building in the best way. This case also causes the development of energy-efficient facade, systems and materials.In the structural elements that forming the buildings envelope, foreknew water and humidity performance is important for the solution of the problems that encountered during use. There is a lot of simulation programmes for this purpose. In this paper, it's investigated that water, humidity and temperature performance on the wall sections, according to the periodic regime conditions, with the using of WUFİ 2D-3 simulation programme that is using kunzel calculation methods, with the using of Edirne climate data the characteristics of the humid temperate climate zones. Because of widely used as a wall model in our country, with reinforced concrete structural system, brick, aerated concrete, pumice stone fillers were selected. Wall-fiction was formed in the northern side and 1 meter height. Non-insulated and insulated from outside walls were calculated. Calculations are made with EPS, XPS, MW materials as heat insulation material. The purpose of this study is that in the wall constructions at the design stage which materials should be juxtaposition and it should be known in advance the temperature, the amount of water and the humidity performance in the generated sections.

Key words: Building Physics, heat flow, vapour diffusion, building envelope

[a] e-posta adresi: filizu@trakya.edu.tr
[b] e-posta adresi: emihlayanlar@trakya.edu.tr
[c] e-posta adresi: ggedik@yildiz.edu.tr

1.GİRİŞ

Yapı kabuğu, fiziksel çevre denetimi açısından iç ortamda belirli bir dengenin kurulması ve sürdürülmesi amacıyla, iç ve dış ortamlar arasında bir dengeleyici bileşen rolünü üstlenmektedir. Binalarda enerjinin verimli kullanımı ancak yapı kabuğunun doğru seçimi ile mümkün olmaktadır. Binalarda ısı kaybının % 40'ı cepheden gerçekleşmektedir [**1**]. Bu yüzden cephe sisteminde malzeme seçimi ve binanın inşa edildikten sonraki performansı önemli kriterlerdir. Oluşturulacak cephe kurgusunun performansını tasarım aşamasında bilmek, hem zaman hem maliyet açısından önemli katkılar sağlar.

Bu amaçla günümüzde, duvar konstrüksiyonlarının ve katmanlarının zamana bağlı ısı, su ve nem akışı ile ilgili gerekli verileri kullanıcıya sağlayan çok sayıda bilgisayar modeli geliştirilmiştir. WUFI®2D-3 simülasyon programı ile bir duvar sisteminin istenen iklim bölgesinde istenen zaman aralığında gösterdiği sıcaklık, su ve nem performansını dikkate alarak uygun duvar ve malzeme seçimi yapılabilmektedir. Bu amaçla, çalışmada WUFI®2D-3 bilgisayar modeli kullanılarak kagir dolgu malzemeleri (tuğla, gazbeton, bimsblok) ile oluşturulan yapı kabuğu kesitlerinde yalıtımsız durumda dolgu malzemesi değişimi ve dışarıdan yalıtımlı durumunda dolgu malzemesi ve yalıtım malzemesi (EPS, XPS, MW) değiştirildiğinde sıcaklık, nem ve su içeriğinin değişimi araştırılmıştır.

2. YÖNTEM

Günümüzde, duvar konstrüksiyonlarının ve katmanlarının zamana bağlı sıcaklık, su ve nem performansı ile ilgili gerekli verileri kullanıcıya sağlayan çok sayıda bilgisayar modeli geliştirilmiştir. CHMC (Canada Mortgage and Housing Corporation)'nin yaptığı bir araştırmada bu amaç için geliştirilen 45 bilgisayar modeli incelenmiş ve bu modellerden üçü gerekli kriterleri karşılaması açısından, farklı duvar konstrüksiyonlarının higrotermal performansının değerlendirilmesinde uygun bulunmuştur. Bu bilgisayar modelleri; MATCH, WUFİ ve MOİST'tir. Bu modeller duvar konstrüksiyonu içerisindeki ısı, sıcaklık, su ve nem akışını tek ve iki boyutlu olarak hesaplamaktadır [**2**].

WUFİ-ORNL/IBP, modüller yardımıyla çalışan bilgisayar modeli, farklı bina kabuğu sistemleri için su ve suyun zararlarına karşı çözümler üretilmesini sağlamaktadır. Bu program iklimsel ve malzeme veritabanları ile birlikte çalışmaktadır. WUFİ-ORNL/IBP'nin ana modülü sayısal eşitliklerin çözümünü yaparken diğer modüller iklim, konstrüksiyon ve iç ortam iklimsel koşulların detaylarının üretilmesini sağlamaktır. Modüllerin her biri birbiriyle ilişkili olarak çalışmaktadır. Hesap sonuçları duvar konstrüksiyonu katmanlarındaki su miktarı, bağıl nem ve sıcaklık değerlerindeki değişimi saatlik, günlük ve yıllık olarak vermektedir [**3,4**].

Çalışmada oluşturulan duvar kesitlerinde, yaygın kullanılan dolgu malzemelerinden tuğla, gazbeton ve bimsblok seçilmiştir. Önce duvarlar yalıtımsız daha sonra da dışarıdan yalıtımlı olarak incelenmiştir. Yalıtım malzemesi olarak EPS (Genleştirilmiş Polistren Köpük), XPS (Haddeden Çekilmiş Polistren Köpük), ve MW (Mineral Yün) kullanıldığı kabul edilmiştir. Oluşturulan duvar kesitleri, kuzey yönünde düzenlenmiş ve bir metre yüksekliği sahiptir. Kesitlerde kullanılan malzemelerin fiziksel özellikleri **Çizelge 1**'de verilmektedir.

Çizelge 1: Duvar kesitlerinde kullanılan malzemelerin fiziksel özellikleri [5]

Malzeme adı	Kalınlık d (cm)	Yoğunluk γ(kg/m^3)	Gözeneklilik porozite (m^3/m^3)	Özgül ısı kapasitesi c (J/kg.K)	Isıl iletkenlik λ (W/mK)	Su buharı difüzyon direnç faktörü, μ
EPS	6 cm	15	0,95	1500	0,04	*50
Tuğla	19 cm	800	0,6	850	*0,39	*10
İç sıva (Alçı)	1 cm	850	0,65	850	*0,7	*10
Dış sıva (polimer ince sıva)	0.8 cm	*800	0,12	850	*0,30	*15
Dış sıva	2 cm	1310	0,36	850	0,87	8
XPS	6cm	40	0,95	1500	0,03	*250
Mineral yün	6cm	60	0,95	850	0,04	*1
Gazbeton	20 cm	600	0,72	850	*0,19	*10
Bimsblok	19 cm	*600	0,67	850	*0,22	*10

*****TS 825 "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları" standardından alınmıştır. Diğer değerler programın değerleridir.

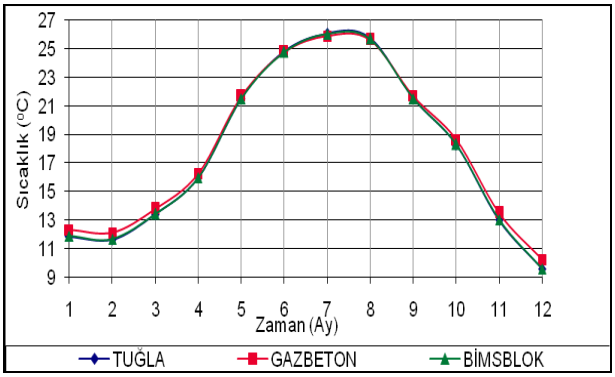
3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE DEĞERLENDİRME

Araştırma kapsamında öncelikle dolgu olarak kullanılan malzemelerin karşılaştırılması yapılmıştır. Oluşturulan grafikler bir yıllık periyotta aylık ortalama değerleri göstermektedir ancak yapılan değerlendirmeler kış aylarında (Aralık, Ocak, Şubat) ve yaz aylarında (Haziran, Temmuz, Ağustos) olmak üzere iki kategoride incelenmiştir.

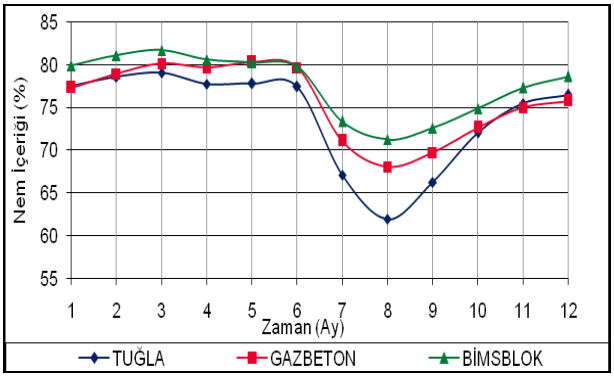
Şekil 1'deki grafikte yalıtımsız durumdaki duvar kesitinin toplam sıcaklığının zamana bağlı değişimi izlenmektedir. Sıcaklıkların aylık ortalamalarına bakıldığında kış aylarında tuğla duvarda 9,6^{o}C, gazbetonda 10,2^{o}C, bimsblokta 9,6^{o}C'ye kadar düştüğü, yaz aylarında ise gazbetonda 25,9 ^{o}C'ye tuğlada 26,1^{o}C ve bimsblokta 26,7^{o}C'ye kadar çıktığı görülmektedir. Tuğla ile bimsblok sıcaklık değerleri arasında fark yoktur. Gazbeton da ise kış aylarında ortalama 1°C daha yüksektir. Bunun nedeni diğer dolgu malzemelerine göre en düşük ısıl iletkenlik (λ) değerine sahip olmasıdır.

Şekil 2'de aylık ortalama nem değerleri görülmektedir. Tuğla duvar kesitinde toplam nem değerleri kış aylarında ortalama % 79,1'e kadar yükseldiği görülmektedir. Yaz aylarında ise, %61,9'a düştüğü görülmektedir. Gazbetonda % 68 ile % 80,2 arasında değişmektedir. En yüksek nem oranı % 71,2 ve % 81,7 arasında bimsblokta gözlenmektedir.

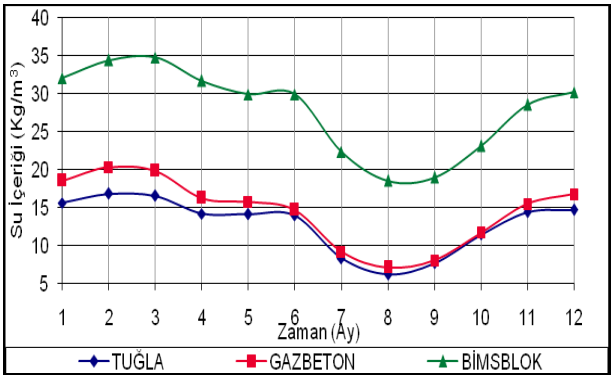
Yalıtımsız kesitlerin aylık ortalama su içeriği değerleri **Şekil 3**'de verilmiştir. Tuğla duvar kesitinde toplam su miktarı 6,2 kg/m^3 ile 16,8 kg/m^3 arasında değişmektedir. Tuğlayı gazbeton takip etmekte olup değerler 7,1 kg/m^3 ile 20,3 kg/m^3 arasındadır. 18,5 kg/m^3 ile 34,8 kg/m^3 su içeriği ile nem durumunda olduğu gibi en fazla su içeriğini bimsblok barındırmaktadır. Tuğla, gazbeton ve bimsblok yalıtımsız duvar kesitlerinde nemlenme durumu söz konusudur. Programda "suda ayrışabilen malzemelerin sınır değerleri limit 1, suda çözünmeyen malzemelerin sınır değerleri limit 2 ile gösterilmektedir" [**4**]. Buna göre yalıtımsız dolgu malzemelerinin hepsi limit 1 olarak verilen değeri aşmakta tuğla limit 2 sınırının biraz altında, gazbeton tam limit 2 sınırında ve bimsblok limit 2'yi geçmektedir. Bu yüzden yalıtımsız duvar kesitleri içinde nemlenme durumu söz konusudur.



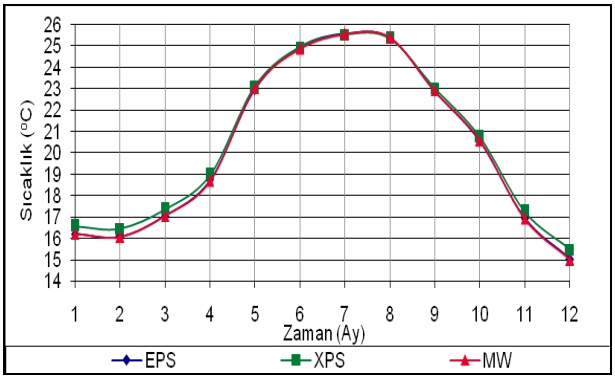
Şekil 1: Yalıtımsız duvar kesitlerinde sıcaklık değişimi



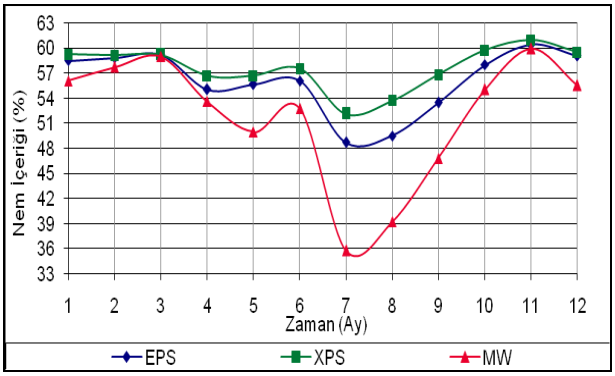
Şekil 2: Yalıtımsız duvar kesitlerinde nem değişimi



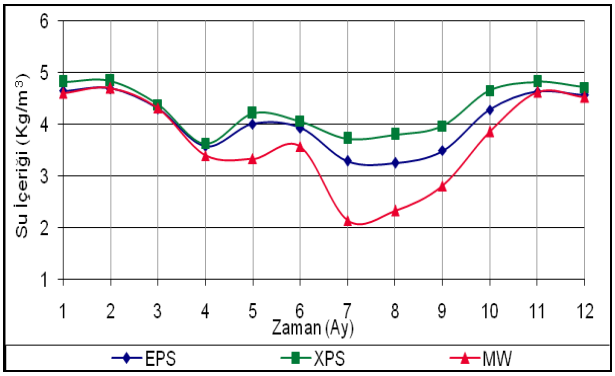
Şekil 3: Yalıtımsız duvar kesitlerinde su içeriği değişimi



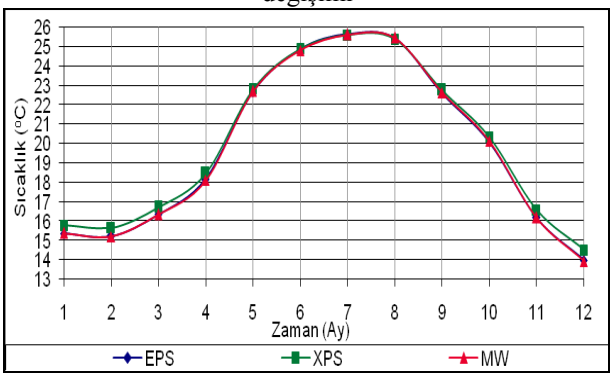
Şekil 4: Dışarıdan yalıtımlı tuğla duvar kesitinde sıcaklık değişimi

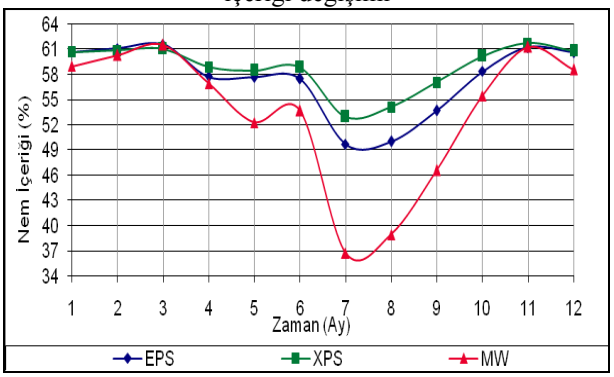


Şekil 5: Dışarıdan yalıtımlı tuğla duvar kesitinde nem değişimi

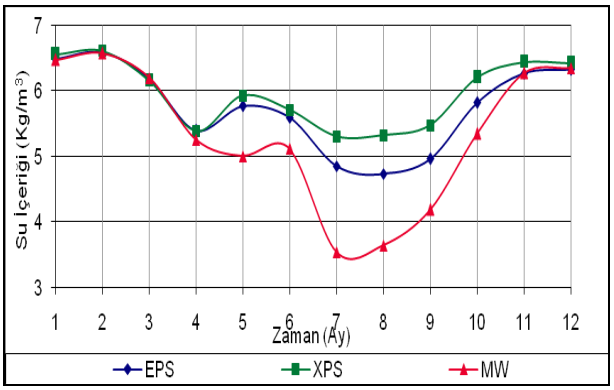


Şekil 6: Dışarıdan yalıtımlı tuğla duvar kesitinde su içeriği değişimi

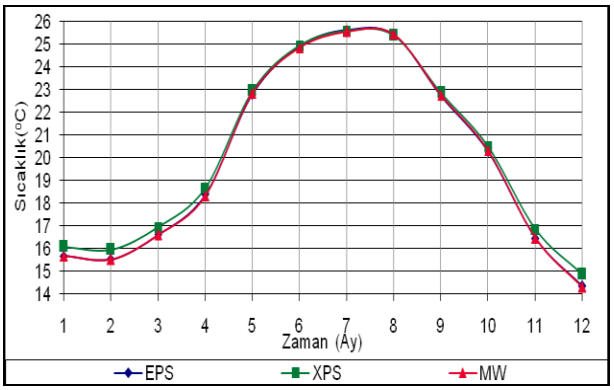




Şekil 7: Dışarıdan yalıtımlı gazbeton duvar kesitinde sıcaklık değişimi

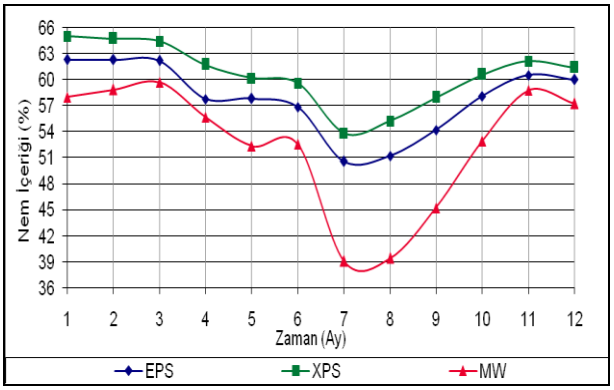


Şekil 8: Dışarıdan yalıtımlı gazbeton duvar kesitinde nem değişimi

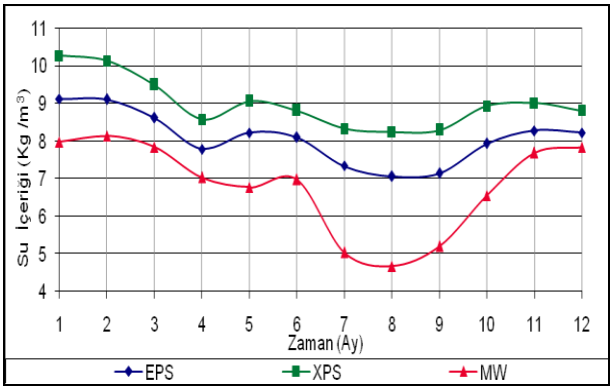


Şekil 9: Dışarıdan yalıtımlı gazbeton duvar kesitinde su içeriği değişimi

Şekil 10: Dışarıdan yalıtımlı bimsblok duvar kesitinde sıcaklık değişimi



Şekil 11: Dışarıdan yalıtımlı bimsblok duvar kesitinde nem değişimi



Şekil 12: Dışarıdan yalıtımlı bimsblok duvar kesitinde su içeriği değişimi

Çalışmanın sonraki aşamasında aynı dolgu malzemelerinden oluşan duvarların dışarıdan yalıtılması durumu araştırılmıştır. Yalıtım malzemesi olarak EPS, XPS ve MW kullanılmıştır.

Dışarıdan yalıtımlı tuğla duvar kesitinde sıcaklık değerlerine bakıldığında yalıtım malzemesi olarak XPS kullanılması durumunda kış aylarında en düşük sıcaklık 15,5°C, MW ve EPS'de 15°C, yaz aylarında bütün kesitlerde 25,6°C'ye yükselmektedir. (**Şekil 4**)

Nem değerlerine bakıldığında, EPS'de %59,1, XPS'de %60,9 ve MW'de %59,9 ile en yüksek nem oranı Kasım ayında görülmektedir. Yaz aylarında ise %48 ile EPS'de, %52,1 XPS'de, MW de ise % 35,7 nem oranları gözlenmektedir. (**Şekil 5**)

Su içeriği ise EPS'de 3,3 kg/m^3 ile 4,7 kg /m^3 arasında XPS'de 3,7 kg/m^3 ile 4,8 kg /m^3 arasında değişmekte olup, MW de 2,1 kg/m^3 ile 4,7 kg/m^3 sonucunu vermektedir. (**Şekil 6**)

Dışarıdan yalıtımlı gazbeton duvar kesitinde sıcaklık değerlerine bakıldığında yalıtım malzemesi olarak EPS kullanılması durumunda kış aylarında en düşük sıcaklık 14°C, MW de 13,9°C, XPS de 14,5°C, yaz aylarında bütün kesitlerde 25,6°C'ye yükselmektedir. (**Şekil 7**)

Nem değerlerine bakıldığında en yüksek nem oranlarının EPS ve MW'de %61,5, XPS'de %61,7 olduğu görülmektedir. Yaz aylarında ise %49,7 ile EPS'de, %52,9 ile XPS'de ve MW'de %36,7 nem oranı ile tuğla duvar kesitine göre % 1 daha yüksek sonuçlar verdiği görülmektedir. (**Şekil 8**)

Su içeriği gazbeton duvarda EPS kullanılan kesitlerde 4,7 kg/m^3, XPS'de 5,3 kg/m^3, MW'de ise 3,5 kg/m^3 arasında değişmektedir. Kış aylarında en yüksek su içeriği tüm kesitlerde 6,6 kg /m^3 olarak görülmektedir. (**Şekil 9**)

Dışarıdan yalıtımlı bimsblok duvar kesitinde sıcaklık değerlerine bakıldığında yalıtım malzemesi olarak EPS veya MW kullanıldığında kış aylarında en düşük sıcaklık 14,3^oC, XPS kullanıldığında 14,9°C'dır. Yaz aylarındaki sıcaklık değerleri tüm kesitlerde 25,6^oC olarak görülmektedir. (**Şekil 10**)

Nem değerlerine bakıldığında en yüksek nem oranları kış aylarında, EPSde %62,3, XPS de %64,9, MW de %59,7 olduğu görülmektedir. Yaz aylarında ise EPS de %50,5, XPS'de %53,8 MW de % 52,3 oranları ile en düşük değer Temmuz ayında gözlenmektedir. (**Şekil 11**)

Su içeriği EPS de 7,1 kg/m^3 ile 9,1 kg /m^3 arasında değişmekte, XPS de 8,2 kg/m^3 ile 10,3 kg /m^3 arasında değişmekte, MW de 4,7 kg/m^3 ile 8,1 kg/m^3 ile en düşük sonucu vermektedir. Tuğla ve gazbetona göre en yüksek su oranı bimsblokta bulunmaktadır. (**Şekil 12**)

Değerlendirme

Sıcaklık açısından;

. Yalıtımsız duvar kesitlerine göre yalıtımlı duvar kesitleri kış aylarında önemli farklar göstermektedir. Kesitlerde kış aylarındaki sıcaklık değişimi yaz aylarına göre çok daha belirgindir. Kış aylarında yalıtımlı kesitlerde sıcaklıklar ort. 4-6°C daha yüksek izlenirken, yaz aylarında 1°C dolaylarında daha düşük elde edilmektedir. Dolayısıyla yalıtımlı kesitlerin kış dönemindeki etkisi çok belirgindir. (**Şekil 1** ve **4**)

. Tuğla, Gazbeton ve Bimsblok yalıtımlı kesitleri karşılaştırdığımızda; sıcaklık açısından kış aylarında tuğla duvarın yalıtımlı kullanıldığı durumun diğer iki durumdan daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. (**Şekil 4, 7** ve **10**'nun karşılaştırılması) Yaz aylarında ise aralarında değişen bir durum söz konusu değildir.

. Yalıtım malzemelerinin değişimi ise, ısıl iletkenlik katsayılarının (λ) birbirine çok yakın olması nedeniyle sıcaklık değerlerinde çok küçük ve önemsenmeyecek değişiklikler oluşturmaktadır.

Nem ve su içeriği açısından;

. Yalıtımsız kesitlerde bimsblok'da bağıl nemin yıl boyunca özellikle kış aylarında yüksek olduğu izlenmektedir. (**Şekil 2**'de %80'in üzerine çıkmakta) Benzer şekilde su içeriği açısından da bimsblok en yüksek değerleri göstermektedir. (**Şekil 3**)

. Yalıtımlı kesitlerde;

Tuğla: Bağıl nem değerleri yalıtımsız tuğla duvarda kış aylarında %75-80 aralığında izlenirken yalıtım uygulamasıyla %55-60 aralığına düşmektedir. Yalıtım türleri arasında ise en düşük bağıl nem değerleri MW uygulamasında izlenmektedir. Kış aylarında XPS ve EPS uygulamalarının bağıl nem değerleri çok yakın olsa da yıl boyunca en yüksek bağıl nem değeri XPS uygulamasında izlenmektedir. Su içeriği açısından da benzer durum durum **Şekil 6**'da görünmektedir.

Gazbeton: Bağıl nem değerleri yalıtımsız gazbeton duvarlarda kış aylarında tuğla duvarda olduğu gibi %75-80 aralığında izlenmekte ancak yıl boyunca gazbeton kesitin bağıl nem değerleri biraz daha yüksek olmaktadır. Yalıtım uygulamasıyla %58-62 aralığına düşmektedir. Bu değerler, yalıtımlı tuğla duvarlarda izlenen değerlerin üzerindedir. Yalıtım türleri arasında ise yine en düşük bağıl nem değerleri MW uygulamasında izlenmekte, kış aylarında ise XPS ve EPS uygulamalarının nem değerleri çok yakın olmaktadır. Su içeriği açısından da benzer durum durum **Şekil 9**'da görünmektedir.

Bimsblok: Yalıtımsız kesitler arasında en yüksek bağıl nem değerleri izlenen Bimsblok'da yalıtım uygulamasıyla bağıl nem değerleri %58-66 arasında değişmektedir. Bu değerler yalıtımlı tuğla ve gazbeton kesitleriyle karşılaştırdığımızda daha yüksektir. Yalıtım türleri arasındaki sıralama bu kesitte de değişmemekte (en düşük bağıl nem değerleri MW uygulamasında, en yüksek bağıl nem değeri XPS uygulamasında) ancak aralarındaki fark daha belirgin olmaktadır.

Özetle; dışarıdan yalıtımlı durumda yalıtım malzemeleri değiştiğinde en düşük nem değerleri MW'da görülmektedir, dolgu duvar malzemeleri değiştiğinde ise değerler birbirine daha yakındır ve en yüksek nem değeri bimsblokta görülmektedir. Su içeriğine bakıldığında yalıtım malzemeleri değiştiğinde EPS ve XPS arasında çok fark gözlenmemekte MW(Mineral yün) de değerlerin düşük olduğu görülmektedir. Dolgu duvar malzemeleri değiştiğinde ise su miktarları arasında tuğla en düşük değerlerde sonra gazbeton gelmektedir, bimsblokta ise su miktarının tuğla duvara göre 2 kat fazla olduğu görülmektedir. Sonuç olarak bu bildiri kapsamında incelenen fiziki koşullarda, dışarıdan yalıtımlı duvar kesitlerinin tümü limit 1'in altında kalmaktadır. Bu yüzden Edirne için dışarıdan yalıtımlı duvar kesitlerinde yoğuşma açısından risk olmadığı söylenebilir.

Isıl konfor şartları açısından ve yoğuşma oluşmaması için iç yüzey sıcaklığı büyük önem taşımaktadır ve ortam sıcaklığından en fazla ±3°C fark olması kabul edilebilmektedir [**6**]. **Çizelge 2**'de duvar kesitlerinde toplam kesit sıcaklıkları ve iç yüzey sıcaklıklarının minimum ve maksimum değerleri verilmiştir.

Çizelge 2: Yalıtımsız ve dışarıdan yalıtımlı duvar kesitlerinde sıcaklık değerleri [**5**]

		TUĞLA		GAZBETON		BİMSBLOK	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max
Yalıtımsız duvar toplam kesit sıcaklıkları (°C)		5,7	32,6	6,2	32,2	5,5	32,5
Yalıtımlı duvar	EPS	12,9	28,9	11,5	29,4	12	29,2

toplam kesit sıcaklıkları (°C)	XPS	13,5	28,6	12,3	29	12,7	28,8
	MW	12,7	28,8	11,3	29,3	11,8	29,1
Yalıtımsız duvar İç yüzey sıcaklıkları (°C)		15	27,4	17,2	26,3	15,9	26,8
Yalıtımlı duvar iç yüzey sıcaklıkları (°C)	EPS	18,6	25,6	18,8	25,4	18,7	25,5
	XPS	18,8	25,5	19	25,4	18,9	25,4
	MW	18,7	25,1	18,8	25,4	18,7	25,4

Yalıtımsız duvar kesitlerinde en düşük iç yüzey sıcaklıkları bimsblok ve tuğla duvar kesitlerindedir. Buna göre tuğla ve bimsblok duvar kesiti yalıtımsız durumda ısıl konfor şartlarını sağlayamamaktadır. Gazbeton duvar kesitinde ise iç yüzey sıcaklığının 17,2°C olarak ısıl konfor açısından sınır değere yaklaştığı izlenmektedir. Yalıtımlı durumda kış şartlarında iç yüzey sıcaklıkları, XPS ile yalıtılmış gazbeton duvarda 19°C ile en yüksek değeri vermekte ve diğer kesitlerde de 0,2°C farklarla birbirine çok yakın değerler almakta ve ısıl konfor şartları açısından herhangi bir sorun oluşturmamaktadır.

Toplam kesit sıcaklıklarına bakıldığında yalıtımsız durumda kış şartlarında 6,2°C ile Gazbeton daha iyi sonuç vermekte, tuğla duvarda 5,7°C, bimsblokda 5,5°C'dir. Yaz şartlarında ise 0,3°C farklarla kesit sıcaklıkları birbirine çok yakın değerdedir. Dışarıdan yalıtımlı tuğla duvarda XPS kullanılan kesitte minimum toplam kesit sıcaklığı 13,5°C, olarak en iyi sonucu vermekte, yine gazbeton ve bimsblok kesitlerde de XPS kullanılması durumunda kesit sıcaklıkları daha yüksek çıkmaktadır.

Yalıtımsız ve yalıtımlı durumdaki toplam kesit sıcaklıklarına bakıldığında kesit içerisinde seyreden nem değeri açısından tuğla duvarın daha iyi durumda olduğu izlenmektedir. Ancak iç yüzey nem içeriği açısından gazbeton ve bimsblok duvarda kesit iç yüzey sıcaklık değerleri daha yüksek olduğundan tuğlaya göre daha düşük bağıl nem oranı görülmektedir.

Yalıtımsız duvarlarda bimsblokta en yüksek nem değerinin olduğu görülmektedir. Dışarıdan yalıtımlı kesitin toplam nem değerlerine bakıldığında bimsblok duvarda XPS ile yapılan yalıtımda kış aylarında maksimum toplam nem değeri olarak en yüksek değeri vermekte, aşağıda **Çizelge 4**'de de XPS kullanıldığında kış aylarında toplam su içeriği maksimum 10,7 kg/m^3 ile en yüksek değerin bimsblokta olduğu görülmektedir. Nem ve su içeriği açısından **Çizelge 3** ve **4**'de benzer sonuçlar izlenmektedir.

Çizelge 3: Yalıtımsız ve dışarıdan yalıtımlı duvar kesitlerinde nem değerleri [**5**]

		TUĞLA		GAZBETON		BİMSBLOK	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max
Yalıtımsız duvar toplam kesit nem içeriği (%)		51,4	79,3	47	79,7	64,9	82,3
Yalıtımlı toplam kesit nem içeriği (%)	EPS	44	62	44,2	63,5	45,8	63
	XPS	49,1	61,9	49,3	63,1	50,6	65,5
	MW	28,4	62,2	29,3	62,9	32,1	60,6
Yalıtımsız duvar İç yüzey nem içeriği (%)		49,4	66,8	43,6	63,8	47,6	66,6
Yalıtımlı duvar	EPS	40,5	61,2	39,8	60,7	40,3	60,7

iç yüzey nem içeriği (%)	XPS	40	61	39,5	60,6	40	60,8
	MW	36,9	60,1	39,8	60,6	40,2	60,6

Çizelge 4: Yalıtımsız ve dışarıdan yalıtımlı duvar kesitlerinde su içeriği değerleri [5]

		TUĞLA		GAZBETON		BİMSBLOK	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max
Yalıtımsız duvar toplam kesit su İçeriği (kg/m^3)		4,19	17,18	5,2	22,3	15,9	37,1
Yalıtımlı toplam kesit su içeriği (kg/m^3)	EPS	2,92	5,4	4,34	7,1	6,6	9,6
	XPS	3,22	5,7	4,9	7,4	7,9	10,7
	MW	1,68	5,4	2,92	7	4,12	8,6
Yalıtımsız duvar İç yüzey su içeriği(kg/m^3)		3,56	5,3	3,14	5,1	3,43	5,3
Yalıtımlı duvar iç yüzey su içeriği (kg/m^3)	EPS	2,91	4,79	2,86	4,74	2,9	4,75
	XPS	2,88	4,78	2,84	4,73	2,88	4,75
	MW	0,29	0,48	2,86	4,73	2,9	4,73

Yalın kesitlerde ısıl iletkenliğinin düşük olması dolayısıyla gazbeton duvarlarda toplam ve iç yüzey sıcaklığının daha iyi durumda olduğu, nem açısından ise tuğla duvarın daha düşük bağıl nem ve su içeriğine sahip olduğu söylenebilir.

İç yüzey sıcaklıkları ve nem durumları açısından değerlendirme yapıldığında, yalıtımsız durumda Gazbeton duvarın daha olumlu, yalıtımlı durumlarda ise tüm kesitlerin birbirine çok yakın değerler verdiği görülmektedir. Sıcaklık açısından bimsblok duvar diğer kesitlerle paralel ve yakın değerlerde iken kesitin toplam nem ve su içeriği açısından değerler yükselmekte, diğer kesitlerle önemli farklar göstermektedir.

4. SONUÇ

Teknolojik gelişmelerle birlikte aynı işlevi yerine getirebilecek, birçok dış kabuk seçeneğinin geliştirilmesi olanaklıdır. Yapı kabuğu, sürekli iç ve dış ortam ile temas ve etkileşim halinde olup iklimsel konforun sağlanmasında ve enerji korunumunda en önemli tasarım değişkenidir. Tasarım aşamasında farklı yapı kabuğu seçenekleri arasında, ısı ve nem ile ilgili performansına bağlı olarak yalıtımın yerinin seçimi, enerji korunumu açısından önemlidir.

Bu çalışmada, bina cephelerinin tasarım aşamasında, kesiti oluştururken kullanılacak uygun malzeme seçimi ile kullanıcıya konfor koşullarının sağlanması ve binanın sağlığı açısından faydalı olmak hedeflenmiştir. Bu amaçla, wufi simülasyon programı ile Edirne iklim verileri kullanılarak, dolgu duvar malzemelerinden tuğla, gazbeton, bimsblok ile duvarların yalıtımsız ve dışarıdan yalıtımlı (EPS, XPS, MW) durumlardaki sıcaklık, su ve nem performansları incelenmiştir. Ancak çalışma kapsamında incelenen seçenekler sınırlandırılmıştır.

Ülkemizdeki yapılaşmanın hızla arttığı göz önünde bulundurulursa yapı kabuğu tasarımında enerji giderlerinin azaltılmasına yönelik çalışmalar önem kazanmaktadır. Bu tür çalışmaların çok

sayıda alternatif için geliştirilerek, Türkiye'deki farklı iklimsel verilerle değerlendirilmesi ve yapı sektöründe kullanılacak verilere dönüştürülmesi önemli bir adım olacaktır.

KAYNAKLAR

1. S. İsmail, "Enerji verimli binalarda ısı yalıtımının toplam bina maliyetindeki etkisi Yunanistan-Türkiye karşılaştırması", Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Edirne, 2012.

2. L. Brock, "Designing the exterior wall", Wiley Press, New Jersey, USA, 2005.

3. H. Trechsel, "Moisture analysis and condensation control in building envelopes", ASTM, MNL 40, Philadelphia, USA, 2001.

4. F. Umaroğulları, "Betonarme düşey yapı kabuğunda yalıtımın yerinin ve kalınlığının, nem denetimi açısından deneysel ve sayısal değerlendirmesi", Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Edirne, 2011

5. S. Chasan, "Dış cephe bitirme sistemlerinde ısı yalıtımının sıcaklık ve nem performansına etkisinin incelenmesi", Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim dalı Yüksek Lisans Tezi, Edirne, 2013

6. TS 825"Binalarda Isı Yalıtım Kuralları", Ankara, 2008

ISI YALITIM MALİYETİNİN TOPLAM BİNA MALİYETİNDEKİ YERİ: YUNANİSTAN-TÜRKİYE KARŞILAŞTIRMASI

Y. Doç.Dr. Esma Mıhlayanlar[a]
Y. Mim. Simpel İsmail[b]
Trakya Üniversitesi Mimarlık Fakültesi
Mimarlık Bölümü, Edirne, 22030

ÖZET

Son yıllarda artan enerji ihtiyacı tüm Dünya'da konu ile ilgili çalışmaların artmasına neden olmaktadır. Başta Avrupa Birliği ve diğer gelişmiş ülkelerde enerji verimliliğini artırmaya yönelik çalışmalara öncelik verilmektedir. Enerji harcamalarının büyük bir bölümü binaların ısıtılmasında ve soğutulmasında kullanıldığından, bu konuda yapılacak iyileştirmeler hem bireysel hem de ülke ekonomisine katkı sağlayacak ve küresel ısınma tehlikesiyle mücadele edilecektir. Binaların enerji etkin tasarlanmasında dış ortamla temas halinde olan bina kabuğunun uygun malzeme ve teknolojilerle desteklenmesi gerekmektedir. Bu amaçla uygulanan sistemlerin toplam bina maliyeti içindeki oranı önemlidir. Binalara uygun ısı yalıtımının yapılması, ısıl konfor şartlarının yerine getirilmesi ve istenen ekonomikliği sağlaması açısından gereklidir. Bu çalışmada komşu iki ülke olan Türkiye ve Yunanistan arasındaki bina maliyet farklılıklarını ve bu maliyet içerisinde ısı yalıtım maliyeti ile bunun geri ödeme süresinin bulunması hedeflenmektedir. İskelet karkas sistemle yapılmış farklı kat adedine sahip iki farklı konut binası üzerinde; binaların gerekli konfor şartlarını da sağlayacak şekilde, ısı yalıtım uygulamalarının gerçekleştirilmesi, çift cam ısı yalıtımlı pencere kullanılması durumu ile yalıtımsız ve tek cam pencere kullanılması halinde oluşacak farkların maliyetleri hesaplanmıştır Elde edilen ısı yalıtım maliyetinin Ülkelerde tercih edilen farklı yakıt türlerine göre ne kadar sürede geri döneceği de hesaplanmıştır.
Anahtar sözcükler: Isı yalıtımı, Bina maliyeti, Isı yalıtım maliyeti, Geri ödeme süresi

ABSTRACT

In recent years, the growing need for energy in the world, leads to an increase in work related to the subject. Particularly in the EU and other developed countries to improve the energy efficiency of the work is done. The largest energy expenditure takes place in the heating of buildings, improvements to be made in this regard, both individually and will contribute to the country's economy, and will fight against the danger of global warming. In designing energy efficient buildings the envelope that are in contact with the outside must be supported with appropriate materials and technologies. For the systems, implemented for this purpose is important that the ratio of the total building costs. Suitable thermal insulation and fulfilled thermal comfort conditions in terms of providing the desired economics are required in the buildings. Purpose of this study is to find the cost differences between the two neighboring countries (Turkey-Greece), and this cost with the cost of the payback period with the cost of thermal insulation. Skeleton frame with the system made different floor units with two residential buildings on; building the required comfort conditions so as to provide thermal insulation applications implementation, double glazed insulated windows for use with state-isolated and single-glass windows if used will consist of differences costs were calculated. The obtained cost of insulation preferred by different types of fuels in the countries and also how long it will be returned are calculated.
Key words: Thermal ınsulation, Building cost, Thermal ınsulation cost, Payback period

[a] e-posta adresi: emihlayanlar@trakya.edu.tr
[b] e-posta adresi: simpelgr@hotmail.com

1.GİRİŞ

Ekonomik ve toplumsal kalkınmanın en önemli girdilerinden olan enerji, 70'li yıllardan günümüze tüm dünya ülkelerinin gündemini ağırlıklı olarak işgal etmektedir. Bu bağlamda, ekonomik büyümedeki önemli rolü ile enerji, kalkınma programlarının vazgeçilmez bir unsurudur. Enerji politikaları, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, sürdürülebilir kalkınma planlarının bütünleşmiş bir parçasını oluşturmaktadır **[1].**

Günümüzde gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler, sanayi, konut, ulaşım başta olmak üzere birçok sektörde enerjinin verimli kullanımını uyguladıkları enerji politikaları ile teşvik etmektedirler. Uygulanan politikalar, mali teşvikler, kontrol ve bilgilendirme hizmetleri ile desteklenmektedir. Gelişmiş ülkelerde, enerji verimliliği yatırımları için devlet ucuz kredi ve vergi muafiyeti gibi mali katkılarda da bulunmaktadır **[2].**

Binalarda kullanılan enerji en fazla ısıtma ve soğutma sistemlerinde harcanmaktadır. Beklenen ısıl konforun sağlanması için binaların iyi ısıtılması ve yaz aylarında da gerekli havalandırmanın, soğutmanın yapılması beklenmektedir. Binaların enerji verimli hale getirilmesiyle büyük oranda enerji tasarrufu sağlandığı bilinmektedir. Bu nedenle binaların enerji performanslarına yönelik tüm dünyada uygulanan birtakım çalışmalar ve buna uygun çıkarılan yönetmelik, standart ve sertifika düzenlemeleri mevcuttur **[3].**

Bu çalışmada Türkiye ve Yunanistan da yapılacak örnek tek ve çok katlı konutların toplam bina maliyetleri bulunmuştur. Binaların ısı yalıtımlı ve ısı yalıtımsız durumları için yıllık ısıtma enerjisi miktarı ve yıllık yakıt ihtiyacı hesaplanmıştır. Yalıtımsız durumdaki miktardan yalıtımlı durumda harcanacak yakıt çıkarılarak yıllık tasarruf miktarı tespit edilmiştir. Hesaplamalarda bulunan ısı yalıtım maliyeti yıllık tasarruf edilen miktara bölünerek ısı yalıtım maliyetinin geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Yakıt türleri belirlenirken Yunanistan için en fazla kullanılan yakıt türleri fuel-oil, elektrik ve odun, Türkiye için ise doğalgaz, kömür ve elektrik seçilmiştir.

2. ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE BİNA MALİYETİ

2.1. Bina Kabuğunda Enerji Verimliliği

Binalarda enerji verimliliğini artırmanın en önemli yolu, bina dış kabuğunun (duvar, çatı, zemin ve çerçeveler) enerji etkinliğinin iyileştirilmesi, yapı elemanlarının ısıl geçirgenlikleri düşürülerek, ısıl direncinin yükseltilmesi, binanın mimari tasarımı ve ev cihazlarında önlemlerin alınmasıdır. Özellikle konutlarda tüketilen enerjinin %80'i ısınmada tüketildiğinden yalıtım önlemleri enerji verimliliğinde en önemli adım olmaktadır [**4**]. Bu yüzden binalarda ısıtma ve soğutma giderlerinin düşürülmesi, enerji tüketiminin azaltılması için binalarda gereken tedbirlerin alınıp yalıtım uygulamalarının artması gerekmektedir.

2.2. Bina Maliyeti

Bir binanın yapımında kullanılacak malzemeler binlerce elemandan oluşan bir bütünü meydana getirirler. Bir binanın projelendirmesi aşamasından, içinde yaşanır hale gelene kadar birçok

disiplin birlikte çalışır. Bu iş bölümleriyle yapı, mimar, inşaat mühendisi, elektrik mühendisi, makine mühendisi, teknik elemanlar, müteahhit, işçilik, sigorta, arsa bedeli, proje bedeli, kullanılacak olan malzemeler ve nitelikleri gibi birçok çalışma grubunun ortaklaşa meydana getirdiği bir üründür. Pek çok değişken ve parçanın bir araya gelmesi ile bir projenin yapım maliyeti hesaplanabilir. Bu hesaplar belli şartlar, kabuller ve kriterler altında incelenerek oluşturulmaktadır.

Bir yapının çalıştığı ve enerji tüketmeye sürekli olarak devam ettiği yaşam ömrü boyunca tükettiği enerji, o binanın yapımında harcanan enerjiden daha fazla olacaktır. Bu sebeple, kullanılan materyallerin, sadece o anki maliyet verileriyle değil, bina ömrü boyunca bize kazandıracakları ile analiz etmek ve seçim yapmak doğru olacaktır. Bu anlamda malzeme seçimi bina yapımında son derece önemlidir. Çünkü kullanılan en küçük parça bile bina ömrüne etki eden birer zinciri oluşturmaktadır.

Bina maliyetinin doğru hesaplanması için öncelikle bina kabuğunu oluşturan elemanların uygun detay çözümleri incelenmiştir. Oluşturulan bu detaylara göre metrajlar yapılmış maliyetler hesaplanmıştır **[5]**. Bina kabuğunda tüm elemanlarda ısı yalıtımının etkin biçimde sağlanmasına ve yalıtımın bir bütün olarak kesintisiz uygulanmasına dikkat edilmiştir.

3. ÖRNEK BİNALARDA MALİYET ANALİZİ

3.1. İncelenen Binalar ve Özellikleri

Bu çalışmada incelenen binalar seçilirken kat adedine göre farklılık gösteren 2 farklı konut binası ele alınmıştır. Tek katlı müstakil bir konut ile çok katlı (Beş/5) konutun, birbirine komşu iki ülke (Yunanistan ve Türkiye) için ayrı ayrı metrajları yapılmış ve maliyetleri bulunmuştur. Metrajlarda belirlenen tüm malzemeler ortalama bir standart üzerinde seçilmiştir. Ayrıca ısı yalıtım kalınlıkları da "TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları" Standardında verilen sınır değerleri sağlayacak şekilde belirlenmiştir. Az katlı konut Türkiye için (TA) Yunanistan için (YA), çok katlı konut Türkiye için (TÇ) Yunanistan için (YÇ) olarak kodlanmıştır **[5].**
Şekil 1.'de, incelenen binaların üç boyutlu resimleri verilmiştir.



a) b)

Şekil 1: İncelenen tek katlı (a) ve çok katlı (b) konutlar

3.2. Bina Maliyeti Hesaplanırken Kullanılan Yöntem ve Malzeme Seçimleri

Bu çalışmada maliyet analizleri yapılırken sadece yapım aşaması için kullanılan malzeme ve işçilikler ele alınmıştır. Yapı elemanlarının oluşturulmasında her iki ülke için de enerji verimliliğini sağlayacak malzemeler seçilmiştir. Maliyet hesaplarında müteahhit karı, arsa bedeli, proje bedeli gibi konular ele alınmamıştır. Binanın mimari maliyeti dışında kalan ve ayrı bir disiplin çalışması gerektiren mekanik maliyeti (Sıhhi tesisatı, Elektrik tesisatı, Kalorifer tesisatı v.b) nin ayrı metrajı yapılmamış bu oranlar SSK Genel Müdürlüğü 'Konut İnşaat Sözleşmeleri'nin açıkladığı yaklaşık yüzdeler kullanılarak hesaba katılmıştır. Yunanistan ve Türkiye de, enerji verimliliği sağlayacak malzeme ve yalıtım kalınlıkları, Avrupa veya TS tarafından kabul edilmiş ve belli bir güvenilirlik standardına sahip malzemeler kullanılarak maliyet karşılaştırması yapılmıştır. Yunanistan için yapılan birim fiyatları yapı marketler, üretici ve uygulayıcı firmalar ile yapılan görüşmeler sonucunda elde edilmiştir. Türkiye için alınan birim fiyatlar ise Bayındırlık Ve İskân Bakanlığının her yıl yenilediği birim fiyat listesinden 2011 yılı fiyatları temel alınarak yapılmıştır [**6**]. İki ülke arasında yapılacak olan karşılaştırmanın sağlıklı olabilmesi açısından yaklaşık olarak aynı standartlardaki malzemeler seçilmiştir. Bakanlığın verdiği birim fiyatlar arasında iki ülke arasındaki malzeme benzerliğinden emin olunamayan bazı malzemelerin piyasa fiyatları alınmıştır. **Çizelge 1**.'de görüldüğü gibi metraj çalışmaları 14 farklı grup başlığında yapılmıştır.

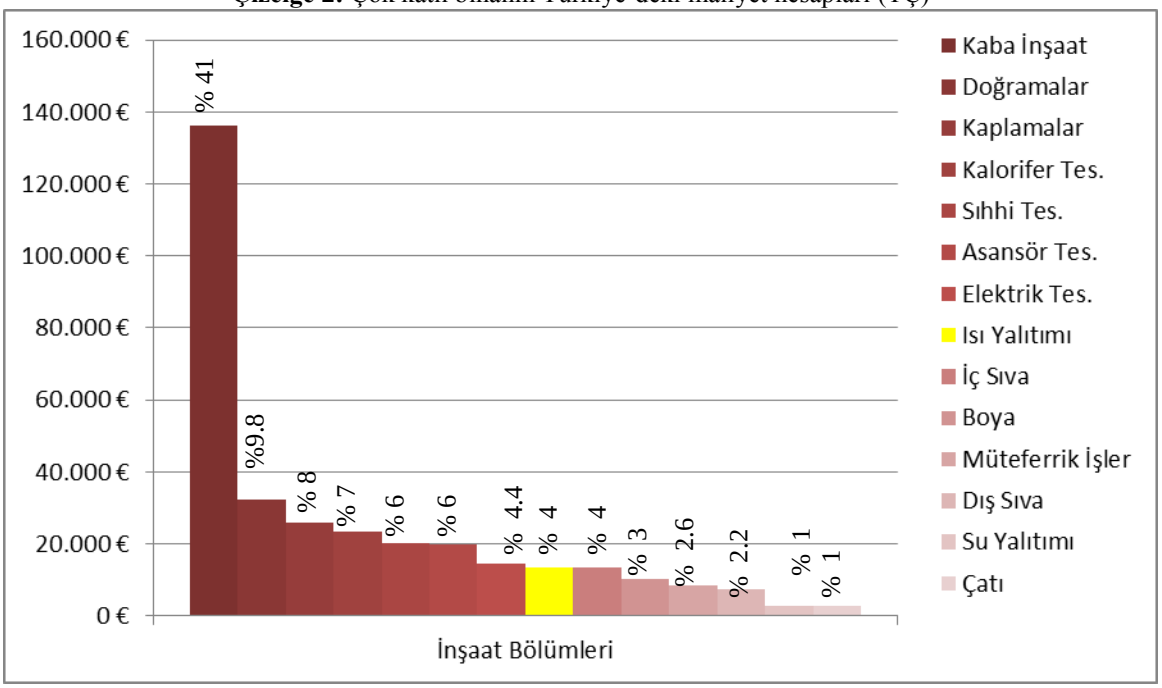
Çizelge 1: Metrajlarda kullanılan inşaat bölümleri

1-Kaba İnşaat	8- Isı yalıtımı
2- Kaplamalar	9- Su Yalıtımı
3- Doğramalar	10- Müteferrik İşler
4- Çatı	11- Asansör Tesisatı
5- İç Sıva	12- Elektrik Tesisatı
6- Dış Sıva	13- Sıhhi Tesisat
7- Boya	14- Kalorifer Tesisatı

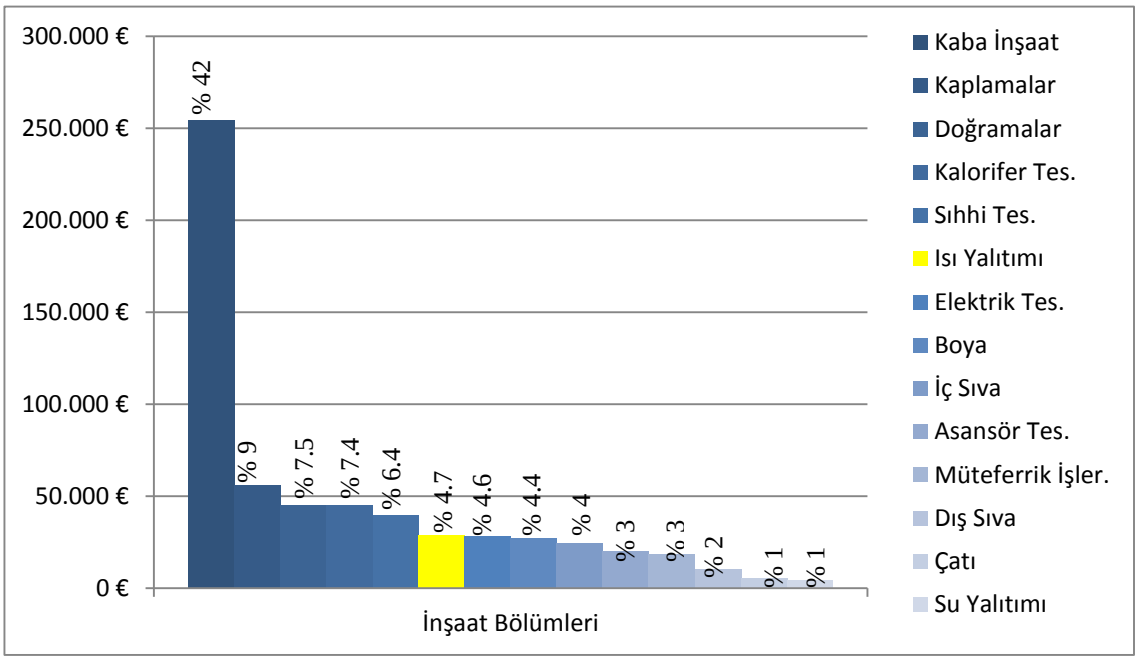
Metrajda kullanılan inşaat bölümleri alt başlıkları, açıklamaları ve poz numaraları ilgili kaynakta ayrıntılı olarak verilmektedir **[5]**. Pozlarda alınan birim fiyatlardan %25 müteahhit karı düşülmüştür. 1. grupta yer alan kaba inşaat kalemleri: beton, demir, grobeton ve tuğla gibi malzemelerle bunların işçiliklerinden oluşmaktadır **[7-9]**. 2. grupta binadaki kaplamalar, alt başlık olarak iç mekan kaplaması, dış mekan kaplaması, ıslak mekan kaplaması, merdiven mermerleri ve tesviye betonu ve bu malzemelerin özelliklerini kapsamaktadır **[10,11]**. 3. grupta doğramalar kısmında bina giriş kapısı, daire kapısı, depo kapısı, iç kapı, pencere ve panjurlar malzeme ve işçilikleriyle birlikte detaylı olarak incelenmiştir **[12]**. 4. grupta çatı iskeleti ve kiremit kaplamalarının malzeme ve işçilikleri **[9,13]**, 5. grupta iç sıva malzeme ve işçilikleri **[7]**, 6. grupta dış sıva ve işçilikleri **[7]**, 7. grup iç boya ve dış boya malzeme özellikleriyle işçilik maliyetlerini kapsamaktadır **[14]**. 8. grupta ısı yalıtımı yapılan bölümler dış duvarlar, zemin ve teras döşemeleri, kat arası döşemeleri ve çatı döşemelerinde hangi yoğunlukta ve ne tür yalıtım malzemelerinin seçildiği belirlenmiştir **[15-17]**. 9. grupta su yalıtımı yapılan bölümler kiremitaltı, bodrum zemin ve duvar, gezilen teras, balkonlar ve ıslak mekan alt başlıkları ve kullanılan malzemelerin işçiliklerini kapsamaktadır**[16]**. 10. gruptaki müteferrik işler balkon ve denizlik mermerleriyle korkuluk malzeme ve işçiliklerinden oluşmaktadır**[11,18]**. 11. grup asansör tesisatı**[19]**, 12. grup elektrik tesisatı**[20]**, 13. grup sıhhi tesisat**[10]**, 14. grup da kalorifer tesisatı hesaplamalarını kapsamaktadır **[10]**.

Yunanistan ve Türkiye'de iki farklı konut tipi (tek katlı müstakil ve beş katlı) için ayrı ayrı yapılan metrajlar sonucu hesaplanan maliyetler yüzdeleri ile birlikte **Çizelge 2-5**. de verilmektedir **[5]**.

Çizelge 2: Çok katlı binanın Türkiye'deki maliyet hesapları (TÇ)



Çizelge 3: Çok katlı binanın Yunanistan'daki maliyet hesapları (YÇ)

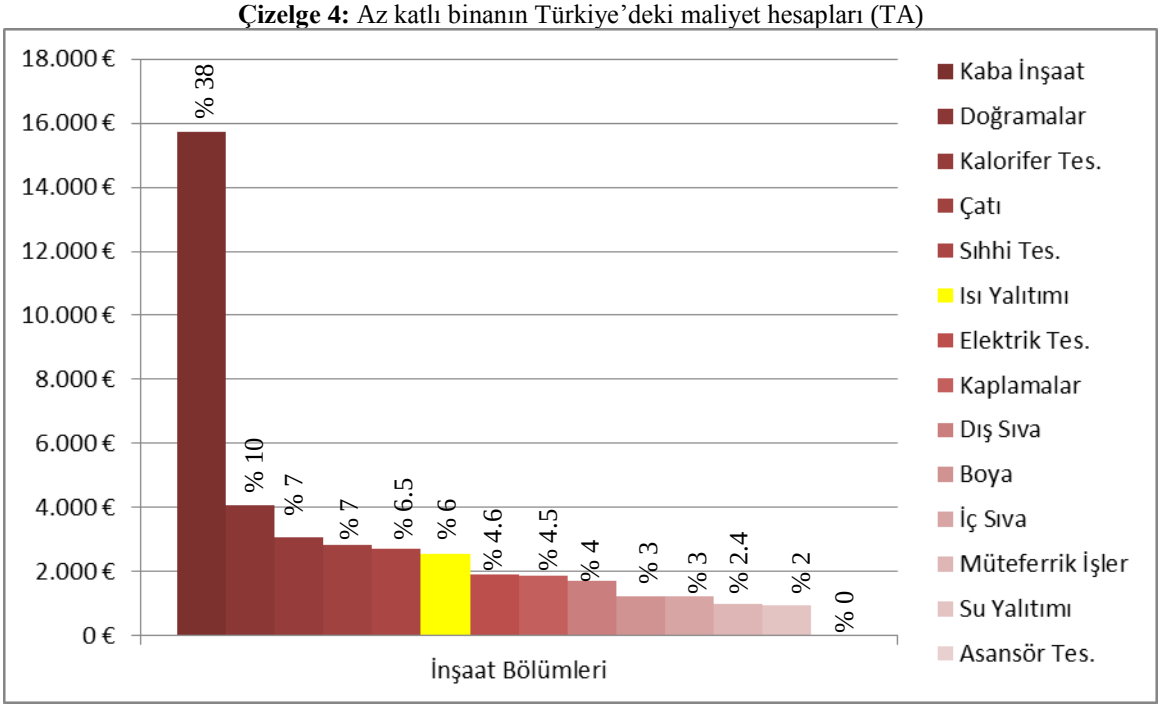


Betonarme karkas sistemle yapılmış 5 katlı konut binasının Türkiye şartlarındaki yapım maliyetlerine baktığımızda bina maliyetinin %41'ini kaba inşaat işleri oluşturmaktadır. Orta sınıf malzemeler seçilerek hesaplanan doğramalar ise %9,8'lik oranla ikinci sırada yer almaktadır. Toplam maliyetin %8'ini kaplamalar, %7'sini kalorifer tesisatı, %6'sını asansör tesisatı, %6'sını sıhhi tesisat, %4,4'ünü elektrik tesisatı, **%4'ünü ısı yalıtımı**, %4'ünü iç sıva, %3'ünü boya, %2,6'sını müteferrik işler, %2,2'sini dış sıva, %1'ini çatı, %1'ini su yalıtımı oluşturmaktadır **(Çizelge 2)**.

Betonarme karkas sistemle yapılmış 5 katlı konut binasının Yunanistan şartlarındaki yapım maliyetlerine baktığımızda bina maliyetinin %42'sini kaba inşaat işleri oluşturmaktadır. Kaplamalar ise %9'luk oranla ikinci sırada yer almaktadır. %7,5'ini doğramalar, %7,4'ünü kalorifer tesisatı, %6,4'ünü sıhhi tesisat, **%4,7'sini ısı yalıtımı**, %4,6'sını elektrik tesisatı, %4,4'ünü boya, %4'ünü iç sıva, %3'ünü asansör tesisatı, %3'ünü müteferrik işler, %2'sini dış sıva, %1'ini çatı, %1'ini su yalıtımı oluşturmaktadır **(Çizelge 3)**.

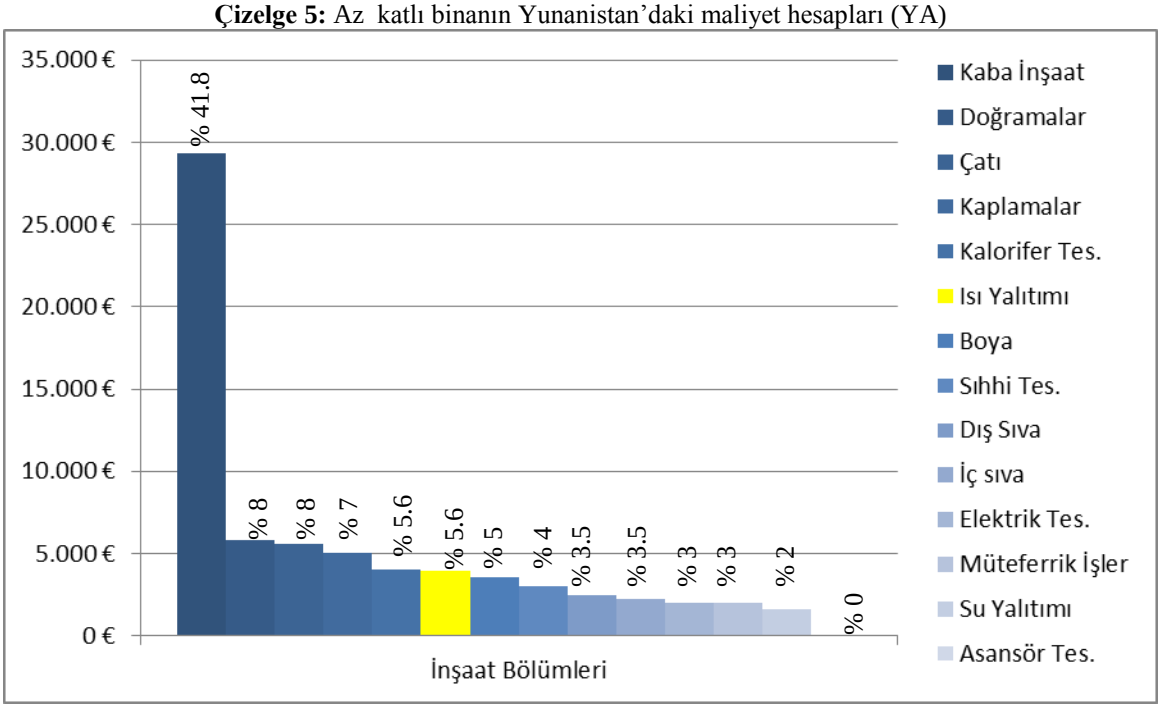
Çok katlı yapıların maliyet oranlarına baktığımızda Türkiye ve Yunanistan'da bina maliyetinin en büyük payını kaba inşaat işleri oluşturmaktadır. Fayans kaplamaları ve kapı pencere doğramaları da kaba inşaat işlerinden sonra maliyetin en büyük payına sahip iş bölümleridir.

Çizelge 4: Az katlı binanın Türkiye'deki maliyet hesapları (TA)



Betonarme karkas sistemle yapılmış tek katlı konut binasının Türkiye şartlarındaki yapım maliyetlerinin %38'ini kaba inşaat işleri oluşturmaktadır. Orta sınıf malzemeler seçilerek hesaplanan doğramalar ise %10'luk oranla ikinci sırada yer almaktadır. Toplam maliyetin %7'sini çatı, %7'sini kalorifer tesisatı, %6,5'ini sıhhi tesisat, **%6'sını ısı yalıtımı**, %4,6 elektrik tesisatı, %4,5'ini kaplamalar, %4'ünü dış sıva, %3'ünü boya, %3'ünü iç sıva, %2,4'ünü müteferrik işler, %2'sini su yalıtımı oluşturmaktadır **(Çizelge 4)**.

Çizelge 5: Az katlı binanın Yunanistan'daki maliyet hesapları (YA)



Betonarme karkas sistemle yapılmış tek katlı konutun Yunanistan'da yapım maliyetlerinin %41,8'ini kaba inşaat işleri oluşturmaktadır. Doğramalar ise %8'lik oranla ikinci sırada yer almaktadır. %8'ini çatı, %7'sini kaplamalar, %5,6'sını kalorifer tesisatı, **%5,6'sını ısı yalıtımı,** %5'ini boya, %4'ünü sıhhi tesisat, %3,5'ini iç sıva, %3,5'ini dış sıva, %3'ünü müteferrik işler, %3'ünü elektrik tesisatı, %2'sini su yalıtımı oluşturmaktadır **(Çizelge 5)**.

Tek katlı yapıların maliyet oranlarına baktığımızda Türkiye ve Yunanistan'da maliyetin en büyük payını kaba inşaat işleri oluşturmaktadır. Çatı maliyeti tek katlı binalarda maliyetin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Burada asansör tesisatı olmadığı için iş bölümleri 13 başlık altında incelenmiştir.

4. SONUÇLAR

İncelenen binaların TS 825-Binalarda Isı Yalıtım Kurallarındaki hesap yöntemi kullanılarak yalıtımlı ve yalıtımsız durumlarına göre yıllık enerji ve yakıt ihtiyaçları hesaplanmıştır [21]. Binalarda dış duvarlarda 7cm EPS (16 kg/m^3), zemin ve teras döşemelerinde 6cm XPS (30 kg/m^3), kat arası döşemelerinde 3cm XPS (30 kg/m^3), Oturtma çatının b.a döşemesi üzerinde 8cm EPS (26 kg/m^3) kullanılacağı belirlenmiştir ve maliyet hesapları da iki ülke için bu kabullere göre yapılmıştır. Yunanistan ve Türkiye'de iki farklı konut tipi için ayrı ayrı yapılan metrajlar ve hesaplanan maliyetler yüzdeleri karşılaştırmaları **Çizelge 6** da verilmektedir **[5].**

Çizelge 6: İncelenen binaların toplam bina maliyetleri, bu maliyet içindeki diğer kalemler ve ısı yalıtım maliyeti

Bina Türü	Yunanistan Az Katlı (YA)		Türkiye Az Katlı (TA)		Yunanistan Çok Katlı (YÇ)		Türkiye Çok Katlı (TÇ)	
Yapı Grubu [22]	3.sınıf yapılar B Grubu		3.sınıf yapılar B Grubu		3.sınıf yapılar B Grubu		3.sınıf yapılar B Grubu	
Kat Adedi	1		1		5		5	
Bina brüt Hacmi	316m^3		316m^3		2789m^3		2789m^3	
Bina kul. Alanı	101m^2		101m^2		892m^2		892m^2	
Dış duvar Alanı	122m^2		122m^2		1172m^2		1172m^2	
Saydam yüz. alanı	25m^2		25m^2		198m^2		198m^2	
Kaba İnşaat	29340€	%41,8	15713€	%38	254530€	%42	136127€	%41
Kaplamalar	5047€	%7	1861€	%4,5	55746€	%9	25793€	%8
Doğramalar	5845€	%8	4064€	%10	45211€	%7,5	32311€	%9,8
Çatı	5554€	%8	2831€	%7	5371€	%1	2625€	%1
İç Sıva	2261€	%3,5	1230€	%3	24660€	%4	13418€	%4
Dış Sıva	2454€	%3,5	1716€	%4	10539€	%2	7345€	%2,2
Boya	3562€	%5	1233€	%3	27250€	%4,4	10107€	%3
Isı yalıtımı	*3959€*	*%5,6*	*2550€*	*%6*	*28603€*	*%4,7*	*13506€*	*%4*
Su Yalıtımı	1595€	%2	949€	%2	4528€	%1	2664€	%1
Müteferrik İşler	1988€	%3	1008€	%2,4	18315€	%3	8593€	%2,6
Asansör Tesisatı	-	-	-	-	20000€	%3	19720€	%6
Elektrik Tesisatı	2000€	%3	1913€	%4,6	28170€	%4,6	14552€	%4,4
Sıhhi Tesisat	3000€	%4	2695€	%6,5	39438€	%6,4	20373€	%6
Kalorifer tesisatı	4000€	%5,6	3086€	%7	45072€	%7,4	23283€	%7
m^2 maliyeti	*460€*		*250€*		*588€*		*340€*	
Bina toplam maliyeti	*70605€*		*40855€*		*607433€*		*330371€*	

İki ülke arasındaki maliyet farkları 14 farklı iş bölümü için ayrı ayrı incelendiğinde kaba inşaat işlerinin Yunanistan'da Türkiye'ye göre 1,8 katı daha fazla olduğu görülmüştür. Bu bölümde demir işlerinin 2,6 katı oranla en büyük farkı oluşturduğu görülmektedir. Kaplama işleri Yunanistan'da Türkiye ye göre, çok katlı binalarda 2,1 katı az katlı binalarda ise 2,7 katı daha fazladır. Kaplama işçiliklerinde 3,1 katı gibi bir fark ortaya çıkmaktadır. Burada işçilik fiyatlarının farkı açıkça görülmektedir. Doğrama işlerinde Yunanistan'daki maliyet bedelleri Türkiye'ye göre 1,4 katı daha fazladır. Kapılarda bu oran 1,8 katı iken pencerelerde 1,4tür. Panjurlarda ise Türkiye'deki fiyatlar, az kullanılması, iç pazarın oluşmaması ve ithal edilmesi gibi nedenlerle daha fazla olduğu görülmektedir. Çatı işlerinde Yunanistan'daki maliyet bedellerinin Türkiye'ye göre 2 katı, iç sıva işlerinin 1,8 katı, dış sıva işlerinin 1,4 katı, boya işlerinde çok katlı binalarda 2,7 katı ve az katlı binalarda 2,6 katı, boya işçiliklerininse ortalama 3 katı daha fazla olduğu görülmektedir.

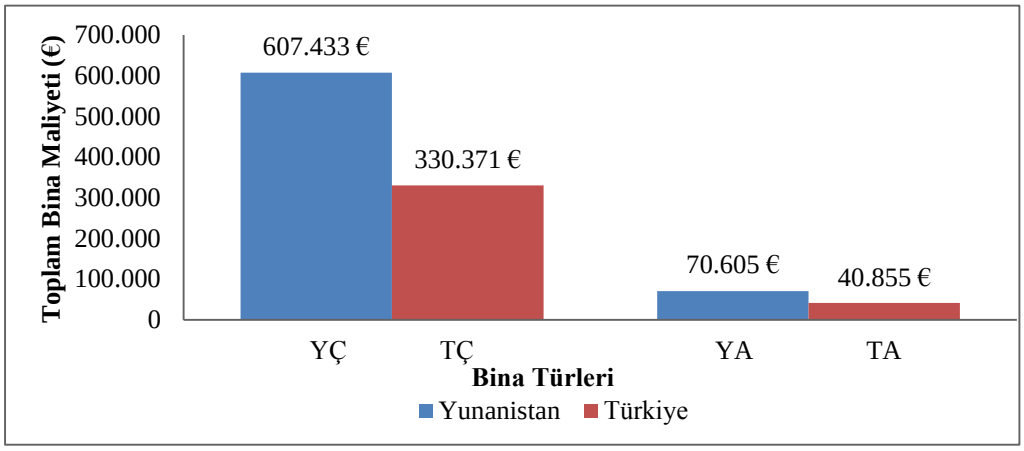
Isı yalıtımın maliyetlerine bakıldığında çok katlı binalarda Yunanistan'da Türkiye ye oranla 2,1 katı, az katlı binada ise 1,5 katı daha fazla olduğu görülmüştür. Yapılan bu hesaplarda dış duvarların dışardan yalıtıldığı varsayılmıştır. Bu durumda kalifiye elemanın pahalı olması ve iskele gerektirmesi nedeniyle bu oranlar artmaktadır.

Su yalıtım işlerinin Yunanistan'da Türkiye'ye oranla 1,6 katı, müteferrik işlerin 2 katı, asansör maliyeti ise her iki ülkede de ithal yoluyla temin edildiğinden fiyatlar aynıdır. Elektrik, sıhhi tesisat ve kalorifer işlerinde çok katlı binalarda oranların daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni düşey yönde malzeme ve işçiliğin artmasıdır.

Yapılan metrajlar sonucu hesaplanan toplam maliyetlerin m^2 başına karşılaştırılmasına bakılacak olursa; Yunanistan'da çok katlı binaların m² maliyeti 460€ iken Türkiye'de 250€'dur. Bu durumda Yunanistan'da çok katlı binaların m² maliyetleri Türkiye'ye oranla 1,84 katı daha fazla bulunmuştur. Tek katlı binalar için ise Yunanistan'da m² maliyeti 588€ iken Türkiye'de 340€'dur. Bu durumda Yunanistan'da çok katlı binaların m² maliyetleri Türkiye'ye oranla 1,72 katı daha fazla olduğu görülmektedir. Bina tiplerinde tek katlı yapıların m² maliyetleri çok katlı yapılara göre daha fazla olduğu görülmektedir.

Çizelge 7'de Türkiye ve Yunanistan da incelenen bu binaların toplam bina maliyetleri karşılaştırmalı olarak verilmektedir [**5**].

Çizelge 7: Türkiye ve Yunanistan da incelenen binaların toplam bina maliyetleri karşılaştırılması [**5**]



Bina maliyetlerinin Yunanistan'da fazla olmasının nedeni; yapı malzemelerinin Avrupa ülkelerinden ithal ediliyor olması ve işçilik fiyatlarının fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca nüfusun az olmasından dolayı kalifiye eleman sıkıntısı işçilik maliyetinin fazla olmasına neden olmaktadır. Ancak Türkiye'de ise inşaat malzemelerinin çoğu ülke içinde üretilebiliyor ve her alanda kalifiye eleman bulunabilmektedir.

Isı yalıtımının toplam bina maliyeti içerisindeki oranına baktığımızda çok katlı binalarda Türkiye'de **%4**, Yunanistan'da **%4,7**, az katlı binalarda Türkiye'de **%6**, Yunanistan'da **%5,6**'dır **(Çizelge 7)**. Bu oranlar toplam maliyet içerisinde yüksek oranlar gibi görünse de, bina işletim süresinde elde edilecek yakıt tasarrufuyla geri döneceği bilinmektedir. Maliyet hesaplamaları içerisinde ayrı bir bölüm olarak bulunan ısı yalıtım maliyetinin belli yakıt türlerine göre ne kadar sürede geri döneceği belirlenmiştir **(Çizelge 8)**. Geri ödeme süreleri yakılan yakıt türlerine göre farklılık göstermektedir. İki ülkede yaygın olarak kullanılan farklı yakıt türlerine göre geri ödeme süreleri (yıl) olarak **Çizelge 8'**de verilmektedir [**5**].

Literatürde yalıtım maliyeti ve geri ödeme süresi ile ilgili olarak farklı çalışmalar bulunmaktadır. Bu kaynaklarda genellikle dış duvarlardaki optimum yalıtım kalınlığı ve derece gün değeri esas alınarak ömür boyu maliyet analizi yöntemi kullanılarak geri ödeme süreleri hesaplanmıştır [**23-25**].

Bu çalışmada geri ödeme süresi hesabında sadece bir yapı elemanı üzerinden değil binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı hesabında bulunan tüm yapı elemanlarının (duvar, çatı, döşeme v.b) yalıtım kalınlıkları esas alınarak hesaplanmıştır. TS 825 'Binalarda Isı yalıtım Kuralları' standardındaki hesap metoduna göre belirlenen yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı yalıtımlı ve yalıtımsız durumlar için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Önce yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ($Q_{yıl}$) ve yakıt cinsleri kcal olarak hesaplanmıştır. Daha sonra yakıtın birim fiyatıyla yıllık yakıt çarpılarak yıllık harcama bulunmuştur. Isı yalıtım maliyeti yıllık tasarruf edilen miktara bölünerek ısı yalıtım maliyetinin geri ödeme süresi hesaplanmıştır [**26**]. Yunanistan'da en fazla kullanılan yakıt türleri sırasıyla fuel-oil, elektrik ve odun, Türkiye'de sırasıyla doğalgaz, kömür ve elektrik olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 8: Binaların yıllık yakıt ihtiyacına göre ülkelerde kullanılan farklı yakıt türleri için göre geri ödeme süreleri

Bina türü		Yunanistan Az Katlı (YA)			Türkiye Az Katlı (TA)			Yunanistan Çok Katlı (YÇ)			Türkiye Çok Katlı (TÇ)		
Toplam ısı kaybı ($Q_{yıl}$)	yalıtımsız* (kWh)	35017			35017			270023			270023		
	yalıtımlı** (kWh)	4489			4489			40697			40697		
Q= $Q_{yıl}/A_n$ (kWh/m^2)*		346.3			346.3			302.5			302.5		
(kWh/m^2)**		44.4			44.4			45.6			45.6		
1kwh=860 kcal*		30114620			30114620			232214620			232214620		
**		3860540			3860540			34999420			34999420		
Yakıt türü		Fuel-Oil (lt)	Elektrik (kwh)	Odun (kg)	Doğalgaz (m^3)	Kömür (kg)	Elektrik (kwh)	Fuel-Oil (lt)	Elektrik (kwh)	Odun (kg)	Doğalgaz (m^3)	Kömür (kg)	Elektrik (kwh)
Yıllık yakıt ihtiyaç	yalıtımsız*	3136	35017	10038	3650	4936	35017	24189	270017	77404	28147	38067	270017
	yalıtımlı**	402	4489	1286	467	632	4489	3645	40697	11666	4242	5737	40697
Yıllık harcama (Yunanistan-€ Türkiye-YTL)		4391 / 563	2801 / 360	1204 / 154	3285 / 420	1579 / 202	5602 / 718	33864 / 5104	21601 / 3255	9288 / 1399	25332 / 3818	12181 / 1835	43202 / 6511
Tasarruf edilen tutar (Yunanistan-€ Türkiye-YTL)		3828	2441	1020	2865	1376	4883	28760	18345	7888	21513	10345	36690
Isı yalıtım maliyeti (1€ =2,3 YTL)		3959(€)			5865(YTL)			28603(€)			31063(YTL)		
Yakıt türüne göre ısı yalıtımı geri ödeme süresi (yıl)		1,03	1,6	3,8	2,04	4,2	1,2	1	1,6	3,6	1,4	3	1
Ülkeler		Yunanistan						Türkiye					
Yakıt türü		Fuel –oil		Elektrik		Odun		Doğalgaz		Kömür		Elektrik	
2012 yılı birim fiyatları		1 lt fueloil =9600 kcal = 1,4€		1 kwh elektrik =860 kcal = 0,08€		1 kg odun =3000 kcal =0,12€		1 m^3 doğalgaz =8250kcal =0,90YTL		1 kg kömür = 6100kcal =0,32YTL		1 kwhelektrik =860kcal =0,16YTL	

Yunanistan'da çok katlı binada yakıt türü olarak fuel-oil kullanılması durumunda 1 yıl, elektrikte 1,6 odunda 3,6, az katlı binada fuel-oil kullanılması durumunda 1,03 yıl, elektrikte 1,6 odunda 3,8 yılda yapılan ilk yatırımın geri ödeneceği tespit edilmiştir. Yakıt türlerine göre geri ödeme sürelerinin değişimleri ise yakıt maliyetine göre değişmektedir. Maliyeti düşük olan yakıt türlerinde geri ödeme süreleri uzamaktadır. Türkiye'de çok katlı binada doğalgaz kullanılması durumunda 1,4 yıl, elektrikte 1 yıl, kömürde 3 yıl, az katlı binada ise doğalgaz kullanılması durumunda 2,04 yıl, elektrikte 1,2 yıl, kömürde 4,2 yılda yapılan ilk yatırımın geri ödeneceği tespit edilmiştir **(Çizelge 7)**. Genellikle piyasada ısı yalıtım maliyetinin 2-5 sene sonra geri döneceği genellemesi yapılmaktadır**[27,28]**. Bu çalışmada, bina özelliklerine, kullanılacak yakıt türüne ve ülke şartlarına göre bu sürenin farklılık gösterdiği belirlenmiştir.

Benzer iklim bölgesi özelliklerine sahip birbirine komşu, Türkiye-Edirne ve Yunanistan-Gümülcine illerinde uygulanacak iki farklı konut için yapılan maliyet hesapları sonucunda kalifiye eleman eksikliği ve malzeme maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı Yunanistan'da bina maliyetlerinin Türkiye'ye göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ancak bir AB ülkesi olan Yunanistan'da gerekli yönetmeliklerin daha sıkı uygulandığı ve denetlendiği bilinmektedir.

KAYNAKLAR

1.TÜBİTAK "Enerji Teknolojileri Politikası Çalışma Grubu Raporu, Ankara, 1998,TUBİTAK Yayını.

2. B. Köse., O. Isıkan., İ. A. Talat, 'Isı Yalıtım Uygulamalarının Üç Bölge İçin Enerji Verimliliği Açısından İncelenmesi ' , Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi 2006/3, s:3.

3.S. İsmail., E. Mıhlayanlar, "Binalarda Enerji Verimliliği Ve Yeşil Bina Sertifikası Almış Ulusal ve Uluslararası Örnek Binaların Değerlendirilmesi", 11. Ulusal Tesisat Müh. Kongresi, , 17-20 Nisan 2013 İzmir, s:1585-1600.

4., A. K. Dağsöz, H.M Yüksel, "Yapılarda Isı Yalıtımının Bireylere ve Ülkemizin Ekonomisine Katkıları", 19. Enerji Tasarrufu Haftası, Enerji Ulusal Enerji Verimliliği Kongresi, 26-28 Ocak 2000, ss.97-107.

5. İsmail, S., "Enerji Verimli Binalarda Isı Yalıtımının Toplam Bina Maliyetindeki Etkisi Yunanistan-Türkiye Karşılaştırması", Edirne, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2012.

6. www.birimfiyat.com (2011 yılı verileri)

7. www.titan.gr (son erişim tarihi 14 Ocak 2014)

8. http://www.sidenor.gr/ViewNews.aspx?IdNews=197&lang=GR (son erişim tarihi 14 Ocak 2014)

9. http://kebe-sa.gr/greek/products/ (son erişim tarihi 14 Ocak 2014)

10. http://www.syntherm.gr/products-list (son erişim tarihi 14 Ocak 2014)

11. http://www.marblespoulios.gr/balance_sheet_2012.pdf (son erişim tarihi 14 Ocak 2014)

12. www.epiplopoios.gr (son erişim tarihi 14 Ocak 2014)

13. www.stegi-michaidilis.gr son erişim tarihi 14 Ocak 2014)
14. http://www.vivechrom.gr/xrwma-toixou son erişim tarihi 14 Ocak 2014)

15 http://www.fibran.gr/frontend/articles.php?cid=49&t=Proionta (son erişim tarihi 14 Ocak 2014)

16. http://www.monosi-syskevasia.com/efarmoges-eps/thermomonosi-eps/exoteriki-thermoprosopsi-eps.html (son erişim tarihi 14 Ocak 2014)

17. www.sernak.com (son erişim tarihi 14 Ocak 2014)

18. http://www.anco.com.gr/view_cat.php?cat_id=151 (son erişim tarihi 14 Ocak 2014)

19. www.lifts.gr (son erişim tarihi 14 Ocak 2014)

20. www.fotoielektriki.gr (son erişim tarihi 14 Ocak 2014)

21. Anonim TS 825 "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları", Türk Standardları Enstitüsü Ankara

22. Bayındırlık Bakanlığı "Mimarlık Mühendislik Hizmet Bedellerinin Hesabında Kullanılacak Yapı Yaklaşık Birim Maliyetleri", 2011. (http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/04/20120428-5.htm (son erişim 14 Ocak 2014).

23. M. Özel, "Dört Farklı İl İçin Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Belirlenmesi ve Çevresel Analiz", Makine teknolojileri elektronik dergisi, Cilt 10, No:1, 2013 (1-17).

24. M. Gölcü, A. Dombaycı, S. Abalı, "Denizli İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkisi Ve Sonuçları", Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 21, No4, 2006 (639-644).

25. A. Bolattürk, "Binalarda Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Hesabı ve Enerji Tasarrufundaki Rolü", 14. Ulusal Isı Bilimi Ve tekniği Kongresi , Isparta, 2003. 41-47.

26. G. Bayer, "Binalarda Uygulanan Isı Yalıtım Sistemleri Ve Örnek Bir Projede Isı Yalıtım Maliyet Analizi", Sakarya Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Nisan 2006.

27. www.yonyapi.com.tr/yonboardkatalog.pdf , s:5 (son erişim tarihi 14 Ocak 2014)

28. www.izolux.com.tr/urunler/dis-cephe (son erişim tarihi 14 Ocak 2014)

SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARİ TASARIMDA AEROJELLER

Doç.Dr. Müjde Altın[a]
Araş. Gör. Ahunur Aşıkoğlu[b]
DEÜ Mimarlık Fakültesi
Tınaztepe Yerleşkesi, Buca, İzmir, 35160

ÖZET

Sürdürülebilir mimarlık çalışmaları kapsamında kaynak tüketiminin ve çevreye verilen zararın en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda teknolojinin de ilerlemesiyle mimaride kullanılacak yeni malzemeler üretilmektedir. Özellikle uzay çalışmaları sırasında geliştirilen birçok malzeme, günlük yaşama adapte edilmekte ve yeryüzünde kullanılmaktadır. Bunun örneklerinden bir tanesi de "Aerojeller"dir. "Yeryüzündeki en hafif katı madde" olarak tanımlanan aerojeller, 1931 yılında Samuel S. Kistler tarafından geliştirilmiştir. Dondurulmuş duman görünümünde bir malzemedir. Cama benzerliğinden dolayı bina cephelerinde kullanımı mümkündür. Yeni bir nanoteknoloji ürünü olan aerojelin tanıtıldığı bu çalışmanın amacı, aerojellerin mimaride kullanımının ve sürdürülebilirlik açısından mimari tasarıma katkısının irdelenmesidir. Bu yapılırken öncelikle aerojel malzeme tanımlanarak özellikleri, kullanım alanları incelenmiş, daha sonra bu malzemenin mimaride kullanım olanakları örnek uygulamalar üzerinden sürdürülebilirlik bağlamında irdelenmiştir.

Anahtar sözcükler: Aerojel, Nanoteknoloji, Saydam Yalıtım, Sürdürülebilir Mimarlık

ABSTRACT

The aim of sustainable architecture efforts is to minimize the resource use and the harm given to the environment. In this context, new construction materials are being developed with the development in technology. Especially many materials developed for the space industry are being adopted to daily life and being used here on earth. One of these materials is "Aerogels". Aerogels are described as "the lightest solid on earth". They were developed at 1931by Samuel S. Kistler. They could be easily used in building envelopes due to their appearance as frozen smoke, very similar to glass. The aim of this study in which new nanotechnology product aerogel will be introduced is to examine their use in architecture and their contrubution to sustainable architecture. For this purpose, aerogel is introduced, properties and its using areas are given, then their use in architecture from the sustainability context is examined on case studies.

Key words: Aerogel, Nanotechnology, Transparent Insulation, Sustainable Architecture

[a] e-posta adresi: mujde.altin@deu.edu.tr
[b] e-posta adresi: ahuasikoglu@gmail.com

1.GİRİŞ

Teknolojinin ilerlemesiyle hemen her gün karşımıza yeni bir malzeme çıkmakta, bu yeni malzemeler, mimarlık da dahil olmak üzere pek çok alanda kendine yer edinmektedir. Özellikle uzay çalışmaları sırasında geliştirilen ve uzay teknolojisinde kullanılan birçok malzeme, günlük yaşama adapte edilmekte ve yeryüzünde günlük hayatta kullanılmaktadır. Bunun pek çok örneği vardır. Bunlardan bir tanesi, uzay araçlarına enerji sağlayan fotovoltaik panellerdir. 1839 yılında Fransız fizikçi Edmund Becquerel tarafından fotovoltaik etkinin ilk bulunmasından sonra yıllar içinde geliştirilerek 1954'te patenti alınmış, malzemeyi üretmek pahalı olduğu için, çok gerekli olduğu uzay araçlarında kullanılmak üzere geliştirilmeye devam edilmiş, 1970'lerdeki enerji krizi sonrasında 1979-1980'den itibaren de bu malzeme, fosil kaynaklı yakıtlara alternatif olarak, binalarda kullanılan enerjiyi karşılamak üzere binalara entegre edilmeye başlanmış ve halen günümüzde bu kullanımı artarak devam etmektedir.**[1]**

Fotovoltaik malzemenin uzay çalışmalarından sonra yeryüzünde kullanımına benzer şekilde aerojeller de üretimlerinden dolayı fiyatları çok yüksek olan ama mimari için katkısı çok yüksek olabilecek bir malzeme durumundadır. Bunu kanıtlar şekilde malzemenin ilk kullanımı, ABD Savunma Bakanlığı ve NASA tarafından, uzay gemilerinin ısı yalıtımlarını sağlamak üzere gerçekleştirilmiştir.**[2]** Özellikle çok düşük ısıl iletkenlik katsayısı ve yüksek hızlı partikülleri bünyesinde yakalayıp durdurabilme özelliği sayesinde ileride mimaride ısı yalıtım malzemesi veya kurşun geçirmez özellikte yapılar elde edilmesinde kullanılacak bir yapı malzemesi olarak karşımıza çıkması çok muhtemel olup, halihazırda bazı binaların çatı veya cephelerinde kullanımı mevcuttur.

Aerojel, mimarlık alanında bir çeşit saydam yalıtım malzemesi olarak kullanılan bir malzemedir. 20. yüzyılın başlarında, 1930'ların sonlarında Samuel S. Kistler tarafından geliştirilmiştir. "Yeryüzündeki bilinen en hafif katı madde" olarak tanımlanmaktadır. Dondurulmuş duman görünümünde, cama benzer bir malzemedir. Cama benzerliğinden dolayı binalarda cephede hatta çatıda kullanımı mümkündür. Malzeme aynı zamanda "süper yalıtkan" olarak da tanımlanmaktadır. Bu da mimaride saydam yalıtım malzemesi olarak kullanımını açıklamaktadır. Aerojellerin aynı zamanda yangına karşı yalıtımları da çok iyi olup malzemenin, henüz bu şekilde kullanılmasa da, ileride mimaride yangın yalıtımında da kullanılabileceği söylenebilir.

Yeni bir nanoteknoloji ürünü olan aerojel malzemenin tanıtıldığı bu çalışmanın amacı, aerojellerin mimaride kullanımının ve sürdürülebilirlik açısından mimari tasarıma katkısının irdelenmesidir. Bu yapılırken öncelikle aerojel malzeme tanımlanarak ortaya çıkışı, yapısı, türleri ve kullanım alanları incelenmiş, daha sonra bu malzemenin mimaride kullanım olanakları mevcut örnek uygulamalar üzerinden sürdürülebilirlik bağlamında irdelenmiştir.

2. AEROJELLERİN TEMEL ÖZELLİKLERİ VE KULLANIM ALANLARI

2.1. Aerojel

"Yeryüzündeki en hafif katı madde" olarak tanımlanan aerojeller, içinde %95 ile %99.9 miktarında hava bulunduran havalandırılmış köpük olarak tanımlanmakta olup kalan kısım ise cama benzeyen bir malzemedir, örneğin silika adıyla bilinen silikon dioksit. Nanometrik boyutta sıkışan hava molekülleri hareket edemezler. Bu da bu malzemeye yüksek ısı yalıtımı özelliğini

kazandırır.**[3]** Bu durum aynı zamanda ses yalıtımı için de geçerli olup sıkışan hava molekülleri nedeniyle malzemenin ses dalgalarını geçirmesi minimum düzeyde gerçekleşmekte, dolayısıyla aerojel malzeme iyi bir ses yalıtım malzemesi de olmaktadır. Bunun yanısıra birçok farklı fiziksel ve kimyasal özelliği içinde barındırır. Aerojel, dondurulmuş duman görünümünde, cama benzer bir malzeme olup bundan dolayı bina cephelerinde kullanımı mümkündür.

Aerojeller, jellerin sıvı bileşeninin gaz ile değiştirilmesiyle elde edilen gözenekli sentetik maddelerdir. Her ne kadar ismi bir sıvıyı andırsa da bunun aksine katı ve kuru malzemedir. "Jel, biri katı madde diğeri dispersiyon (dağılım) maddesi olmak üzere iki bileşenden oluşan bir karışımı tanımlar. Dispersiyon maddenin hava olması durumunda oluşan yapı aerojel (aerogel), su olması durumunda ise hidrojel (hydrogel) olarak tanımlanmaktadır"**[4].**

2.2. Aerojelin Tarihsel Gelişimi

Saydam yalıtım malzemesi olarak günümüz mimarisine kullanılmaya başlanan aerojel 1931 yılında Samuel Stephen Kistler tarafından laboratuvar ortamında geliştirilmiş, 1940'larda ticari kullanıma hazır hale getirilmiş, 1980 yılında ticari ürün olarak üretilip kullanılmaya başlanmış, 1999'da fırlatılan Stardust uydusu 2006'da yeryüzüne uzaydan topladığı örnekleri getirmiş, 2000'li yıllardan itibaren başta mimari olmak üzere birçok alanda yalıtım malzemesi olarak kabul görüp kullanılmaya başlanmıştır.**[5][6]**

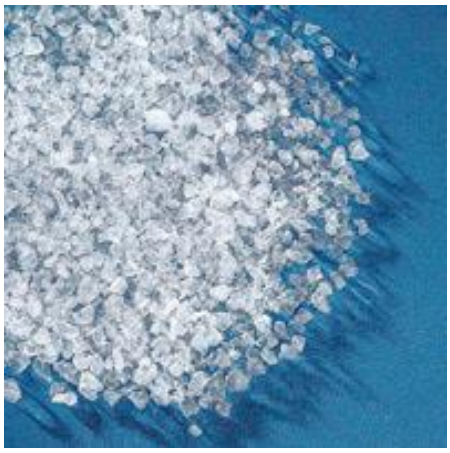
2.3. Aerojelin Yapısı ve Fiziksel Özellikleri

Yüksek ısı yalıtımı özelliğine sahip aerojelin ısıl iletkenlik katsayısı sadece 0.018 W/mK olup oldukça düşük bir değerdedir.**[3]** Bu durum binanın ısı kaybını azalttığı gibi aynı zamanda sıcak iklim bölgelerinde yazın dışarıdan ısı kazancını da azaltmaktadır. Böylelikle malzeme hem ısıtma hem de soğutma yüklerini önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu malzemenin mimaride binalarda kullanımı genelde dış cephede dolgu malzemesi şeklinde olmaktadır. Böylelikle dış cephede, özellikle de ışık geçirgenliği nedeniyle pencere gibi yapı bileşenlerinde kullanılmaktadır(**Şekil 2,3,4**).

Aerojel malzemenin ışığı düzgün ve eşit yayma özelliği vardır. Bu nedenle iç mekanda aynı zamanda parlamayı da önleyerek görsel konfor koşullarını sağlar. Hidrofobik özelliğe sahip olup bu nedenle binayı rutubet ve küf etkilerinden korur.**[7]**

Mimarlıkta saydam yalıtım malzemesi olarak kullanılan aerojel malzemenin tanecikli (**Şekil 1**) ve jel esaslı iki türü vardır. Tanecikli granüllerin tane şekillerine göre malzemenin şeffaflık oranı değişir. Düzgün yüzeyli granüller düz cama yakın bir görünüm verirken kırıklı yapıdaki granüllerde malzemenin şeffaflığı azalmakta, buzlu cama yakın bir görünüm elde edilmektedir.

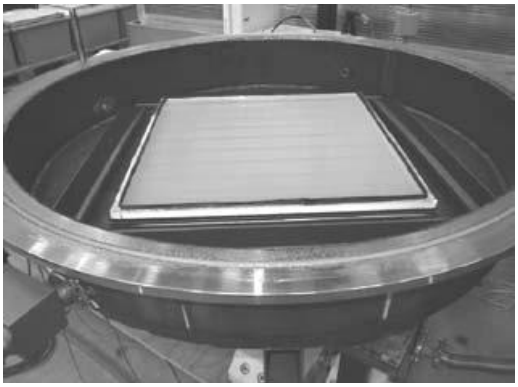
Parçalanmaya bırakılan bir aerojel parçasından, doğada geriye sadece doğal bir malzeme olan kumun kaldığı belirtilmektedir.**[6]** Dolayısıyla faydalı ömrünü tamamlayan bir aerojel malzeme geri dönüştürüldüğünde, doğayı kirletmeyen ve zarar vermeyen, onun bir parçası olan kuma dönüştüğü için mimarlıkta aerojel kullanımının, çevreye zarar vermeme, atık yönetimi ve geri dönüşüm açılarından sürdürülebilirliğin sağlanmasına katkıda bulunduğu söylenebilir.



Şekil 1: Aerojelin Granül yapısı**[8]**



Şekil 2: Aerojel dolgulu pencere örneği**[9]**



Şekil 3: Aerojel dolgulu pencere örneği-üretim aşamasında**[10]**



Şekil 4: Aerojel dolgulu pencere örneği**[10]**

2.4. Aerojelin Kullanım Alanları

Hrubesh, aerojellerin uygulama alanlarını irdelediği makalesinde**[11]**, aerojel uygulamalarının optik özellik uygulamaları, termal yalıtım uygulamaları, akustik ve mekanik uygulamalar, porozite ve yüzey alanı uygulamaları, elektrik ve elektronik uygulamaları ve uzay uygulamaları olarak sınıflandırmıştır. Görüldüğü gibi aerojellerin kullanım alanları çok çeşitlidir. Bunlardan mimaride daha çok kullanılanlar, termal ve akustik uygulamalardır.

Aerojelin çevre için çok önemli bir kullanımı ise petrol sızıntıları ile mücadeledir. Bunun nedeni, aerojelin hem hidrofilik olması (yani suyu itmesi) hem de lipofilik olması (yani yağı absorbe etmesi)dir. Kısacası aerojel malzeme, suyu emmeden petrolü, üstelik bunu toksik olmadan gerçekleştirebilmektedir. Günümüzde petrol temizliğinde kullanılan organik çözücü maddeler kendi ağırlıklarının yaklaşık 10 katı kadar petrol emebiliyorken, yeni geliştirilen bir ürün olan Thermablock, kendi ağırlığının 14-20 katı petrol emebilmektedir**[12].** Burada da yine aerojelin sürdürülebilir çevre için önemli bir katkısını görmekteyiz.

3. SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIKTA AEROJEL KULLANIMI

Aerojelin sürdürülebilir mimaride kullanımının irdelendiği çalışmanın bu bölümünde öncelikle "Sürdürülebilirlik" ve "Sürdürülebilir Mimarlık" kavramları açıklanacak, daha sonra aerojelin kullanıldığı sürdürülebilir mimarlık uygulamalarından örnekler verilecektir.

3.1. Sürdürülebilirlik ve Sürdürülebilir Mimarlık:

Sürdürülebilirlik tanımı ilk defa 1983 yılında yapılan Birleşmiş Milletler Genel Kurul Toplantısı'nın sonucunda, Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu Başkanı Gro Harlem Brundlandt tarafından açıklanan ve 1987'de yayınlanan "Ortak Geleceğimiz (Our Common Future)" raporunda geçmiştir. Brundlandt Raporu olarak da anılan bu raporda sürdürülebilir kalkınma "bugünün gereksinmelerini, gelecek nesilleri, kendi gereksinmelerini karşılama yetisinden yoksun bırakmadan karşılayarak kalkınma" olarak tanımlanmıştır **[13].**

"Sürdürülebilir Mimarlık" tanımı ise çevreye saygılı ve mümkün olan en az zararın verildiği tasarımları kapsamaktadır. Bu yapılırken, sürdürülebilirliğin üç boyutu olan "çevre, toplum ve ekonomi"nin de dikkate alınması gerekmektedir. Sürdürülebilir mimarlık kavramının kapsamında en çok bahsedilen konular şöyle sıralanabilir:

1. "Yapı alanının etkin kullanımı (bulunduğu çevreye, iklime uygun tasarım)
2. Enerji korunumu (ısı yalıtımı, pasif ve aktif enerji sistemlerinin kullanılması, vb)
3. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı
4. Su korunumu (yağmur suyu kullanımı, kullanım suyunun arıtılarak kullanılması, vb gibi)
5. Yerel malzeme ve iş gücü kullanımı (yakındaki malzeme ve iş gücünün tercih edilmesi)
6. Atık yönetimi
7. Geri dönüşüm (geri dönüşümlü malzeme kullanımı)"**[14]**.

Aerojelin mimaride kullanımı, enerji korunumu, yenilenebilir enerji kaynağı kullanımı (güneş enerjisi) ve geri dönüşüm açılarından, ayrıca termal, görsel ve akustik konfor koşullarını sağlama bakımından sürdürülebilir mimarlığa katkı sağlamaktadır.

3.2. Aerojelin Sürdürülebilir Mimaride Kullanım Örnekleri:

Aerojel malzeme 2000'li yıllarla birlikte mimaride kullanılan bir malzeme olarak karşımıza çıkmaya başlamıştır. Çalışmada malzemenin farklı uygulamalarından örnekler incelenmiş, aerojel kullanımının sürdürülebilir özellikleri irdelenmiştir.

3.2.1. Solar Decathlon 2007 Georgia Üniversitesi Binası – ICARUS, ABD

Mimari:	Georgia Üniversitesi öğrencileri
Yapılan Uygulama:	Yeni tasarım – çatı panelleri (Dokuz adet Aerojel dolgulu ve ETFE kaplı 4m x 1,5m panel)**[15]**
U değeri:	0.3 W/m^{2}K**[15]**

ABD Enerji Bakanlığı, 2002 yılından beri, üniversiteli gençleri güneş enerjisinin kullanıldığı binalar tasarlama, inşa etme ve bunları işletmeye teşvik amacıyla "Solar Decathlon" adı verilen

bir yarışma düzenlemektedir. Yarışmanın kazananı, ekonomiklik, kullanıcı memnuniyeti ve tasarım mükemmeliyetini optimum enerji kullanımı ve maksimum verimle birleştirebilen takım olmaktadır. Yarışma halka açık ve ücretsiz olup Solar Decathlon ziyaretçilere, güneşle çalışan evleri dolaşma(**Şekil 5,6)**, kendi evlerinde kullanabilecekleri fikirler edinme ve günümüzde enerji tasarrufu sağlayan özelliklerin nasıl tasarruf için kullanılabileceğini öğrenme fırsatı tanımaktadır.**[16]**



Şekil 5: Yarışma sırasında ICARUS binası**[17]**



Şekil 6: Ziyaretçiler binanın içinde dolaşırken iç mekan görünüşü**[18]**



Şekil 7: ICARUS'un güney cephesi**[19]**



Şekil 8: ICARUS'un aydınlık iç mekanı **[19]**

2007 yılı yarışmasında, çağrılı 20 üniversite içerisinden Georgia Üniversitesi'ne ait ve ICARUS adı verilen proje bir öğrenci grubu tasarımıdır. Bina, tek ailelik bir konut şeklinde tek katlı olarak tasarlanmıştır **(Şekil 7**). Binanın hem hafif, hem de aydınlık, yarı şeffaf olması(**Şekil 8**), kısacası enerji verimli bir bina olması istenmiştir.

"Icarus – Hayatı Işıkla Sürdürmek(Sustaining Life with Light)" **[16]** söylemiyle tasarlanmış bir binadır. Bunu sağlamak için çatıda yalıtım malzemesi olarak Aerogel içeren ETFE paneller kullanılmıştır. Dokuz adet Aerojel dolgulu ve ETFE kaplı 4m x 1,5m boyutlarında panel kullanılmıştır. Çatının U değeri yaklaşık olarak 0.3 W/m^2K'dir. Sonuç hafif, yarı-şeffaf, yüksek ısı yalıtımlı bir çatı olmuştur. **[15]**

Takımların binalarını inşa etmek için bir hafta, yarışma ve gözlem(monitoring) süresince bir hafta, halkın gezmesine açık olarak bir hafta ve demontaj için de bir hafta süreleri vardı. **[16]** Şekil 6'da görülen yarı şeffaf tasarlanmış aerojel dolgulu polikarbonat panellerin arkasında ise güneş kontrolü için gölgeleme elemanları tasarlanmıştır.

Benzer şekilde çatıdaki aerojel dolgulu ETFE panellerin güneş kontrolü ise FV panellerle sağlanmakta, FV paneller bir yandan güneş ışınımından elektrik üretirken, diğer yandan yarı

şeffaf panellerin istenmeyen güneş radyasyonu kazancını azaltmaktadır. Yani iç mekanda istenen difüz/dağınık ışık içeri alınırken, istenmeyen ısı enerjisi, istenen/ihtiyaç duyulan enerji şekline yani elektriğe dönüştürülmektedir.

Aerojel kullanımının "Sürdürülebilir Mimarlığa" katkısı:

- Malzeme ve kaynak korunumu: aynı işlevi daha ince malzemeyle sağlıyor.
- Aydınlık iç mekan: gündüz saatlerinde aydınlatma masraflarını düşürüyor.
- Hafiflik: deprem yüklerini azalttığı için depreme daha dayanıklı
- Alandan tasarruf: Kısıtlı m^2 kullanımında ısı yalıtımı açısından alan kaybını önlüyor, üstelik yarı-şeffaf olarak.
- Karbon salımını azaltarak çevreye zararı önlüyor.
- Modüler kullanımı mümkün olduğu için daha ekonomik ve montaj sürelerini çok kısaltıyor.
- Konut olduğu için, çok ince cidarlarla akustik konforu da sağlaması önemli.

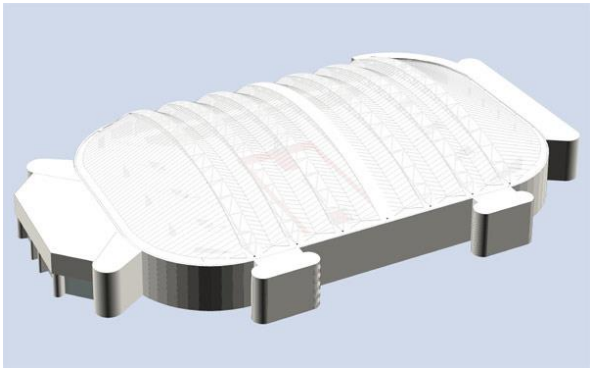
3.2.2. Dedmon Atletizm Merkezi - Radford Üniversitesi, Virginia, ABD

Mimari:	Moseley Architects
Yapılan Uygulama:	Üst örtünün yenilenmesi
Toplam Alan:	5,090 m^2**[20]**
U değeri:	0.47 W/m^2K**[20]**
Enerji tasarrufu:	yılda 64,200 €**[20]**
Karbon salınımı tasarrufu:	yılda 904,000 kg (1kWh = 0.537kgCO_2 olacak şekilde hesaplanmış) **[20]**

Radford Üniversitesi Dedmon Spor merkezinin (**Şekil 9**) varolan üst örtüsü, iki tabaka strüktürel PTFE arasında aerojel içeren bir malzeme kullanılarak yenilenmiş, böylelikle çok yüksek ısı yalıtım değerleri sağlanmıştır. Malzeme kalınlığı 50 mm'den ince olmasına rağmen eski çatı örtüsünün ısı yalıtım değerini üçe katlamıştır(**Şekil 10,11,12**) **[20]**.



Şekil 9: Binanın dışarıdan görünüşü**[21]**



Şekil 10: Aerojel içeren üst örtüyü gösteren çizim**[22]**



Şekil 11: Üst örtünün iç mekandan görünümü**[21]**



Şekil 12: Üst örtünün iç mekandan görünümü**[21]**

Çatının yeni üst örtüsünden beklenen özellikler:

- Enerji verimli olması,
- Rutubet dayanımının yüksek olması,
- Şeffaflık ve
- Estetik olmak.

Aerojel kullanımı ile bunlara ek olarak elde edilen özellikler ise şöyledir:

- artırılmış dayanım,
- su geçirmezlik,
- solmaya karşı direnç,
- akustik sönümleme,
- güneş ışınımı kazancının azaltılması,
- artmış günışığı kazancı ve bunun sonucu azaltılmış aydınlatma masrafları.

Aerojel kullanımının "Sürdürülebilir Mimarlığa" katkısı:

- Malzeme ve kaynak korunumu: aynı işlevi daha ince malzemeyle sağlıyor.
- Aydınlık iç mekan: gündüz saatlerinde aydınlatma masraflarını düşürüyor.
- Hafiflik: deprem yüklerini azalttığı için depreme daha dayanıklı.
- Karbon salımını azaltarak çevreye zararı önlüyor.
- Küf oluşumunu engellediği için sağlık, konfor ve malzemenin dayanımını artırması,
- Akustik konfora katkı sağlaması.

3.2.3. Souchais Spor Kompleksi, Carquefou, Fransa

Mimari:	Murail Architectures – Nantes & Paris, France
Yapım Yılı:	2006
Toplam alan:	3360 m^2**[20]**
Toplam Cephe Alanı:	1,500 m^2**[20]**
U değeri:	0.89 W/m^2K**[20]**
Toplam yatırım:	2.9 million €**[20]**
Enerji tasarrufu:	yılda 38,800 €**[20]**
Karbon salınımı tasarrufu:	yılda 151,000 kg**[20]**

Bu spor kompleksinin tüm cepheleri aerojel dolgulu çok tabakalı polikarbonat panellerden oluşturulmuştur(**Şekil 13,14**). Bu nedenle gün içerisinde ek yapay aydınlatmaya gerek yoktur(**Şekil 15**). Bazı spor türlerini etkileyen gölgeler iç mekanda oluşmamaktadır. Aerojel panellerin ısı yalıtım etkisi, binanın ısı ihtiyacını da azaltmıştır. 25 mm kalınlığında aerojel

dolgulu panellerin U değeri 0.89 W/m^{2}K olup paneller 1.05m genişliğinde, 6m'ye kadar ulaşan boyutlardadır.**[3]**



Şekil 13: Souchais Spor Kompleksinin dış görünümü**[23]**



Şekil 14: Binanın gece görünümü – Aerojel dolgulu panellerin ışık geçirimi**[23]**



Şekil 15: Aerojel dolgulu panellerin iç mekandan görünümü**[23]**

Aerojel kullanımının "Sürdürülebilir Mimarlığa" katkısı:

- Malzeme ve kaynak korunumu: aynı işlevi daha ince malzemeyle sağlıyor.
- Aydınlık iç mekan: gündüz saatlerinde aydınlatma masraflarını düşürüyor.
- Kamaşmayı ve gölgeleri önleyen malzeme: görsel konfor koşullarını artırıyor.
- Hafiflik: deprem yüklerini azalttığı için depreme daha dayanıklı.
- Karbon salımını azaltarak çevreye zararı önlüyor.
- Küf oluşumunu engellediği için sağlık, konfor ve malzemenin dayanımını artırması,
- Akustik konfora katkı sağlaması.

3.3. Karşılaştırma

Çizelge 1: İncelenen binaların U değeri, enerji tasarrufu ve karbon salımı tasarrufu değerlerinin karşılaştırılması

Örnek Bina:	**U Değeri**	**Yapım Yılı**	**Enerji Tasarrufu**	**Karbon Salımı Tasarrufu**
ICARUS (aerojel dolgulu ETFE çatı panelleri)	0.3 W/m^{2}K	2007	-	-
Dedmon Atletizm Merkezi (iki tabaka strüktürel PTFE arasında aerojel dolgu)	0.47 W/m^{2}K (d<50mm)	2008	yılda 64,200 €	yılda 904,000 kg*
Souchais Spor Kompleksi (aerojel dolgulu çok tabakalı polikarbonat paneller)	0.89 W/m^{2}K (d=25mm)	2006	yılda 38,800 €	yılda 151,000 kg*

* 1kWh = 0.537 kg CO_2 olacak şekilde hesaplanmış.

Çizelge 1'de görüldüğü gibi aerojelin binalarda kullanımı 2000 yılı sonrasında başlamıştır. Özellikle iç mekanda ışığın önemli olduğu binalarda ve de kapalı spor salonları gibi derinliği fazla olan yapılarda tercih edilmektedir. Kullanılan cephe elemanının kalınlığı artıkça U değeri küçülmektedir. Bu beklenen bir sonuç olsa da kullanılan yapı bileşeni kalınlığının 5 cm'yi geçmediği düşünülürse aerojelin önemi daha çok anlaşılmaktadır.

Çizelge 3 ve Çizelge 4'te görüldüğü gibi, Aerojel ile elde edilen ısı yalıtımını elde etmek için kullanılması gereken taş veya tuğla duvar kalınlığı düşünülecek olursa 5 cm, hatta 2.5 cm gibi aerojel kalınlıklarının oldukça iyi değerler olduğu açıkça görülmektedir. Nitekim yukarıda yapılan hesaplara göre, Souchais Spor Kompleksindeki U değerini sağlayabilmek için 43 cm

kalınlığında tuğla duvar yapmak gerekiyor. Yani yaklaşık 17 kat daha kalın bir malzeme kullanmak gerekiyor. Veya doğal taş duvarla bu değeri sağlayabilmek için yaklaşık 77 cm taş duvar kalınlığı gerekiyor. Bu karşılaştırmayı yapınca, hangisinin daha ekonomik ve daha sürdürülebilir olduğu konusunda soru işaretleri oluşmaya başlıyor.

Çizelge 2: TS825'te tavsiye edilen U değerleri (W/m^2K):

Bölge	**U_{Duvar}**	**U_{Tavan}**	**U_{Taban}**	**$U_{Pencere}$**
1. Bölge	0,7	0,45	0,7	2,4
2. Bölge	0,6	0,4	0,6	2,4
3. Bölge	0,5	0,3	0,45	2,4
4. Bölge	0,4	0,25	0,4	2,4

Çizelge 3: Düşey delikli tuğla ile farklı duvar kalınlıklarında elde edilecek U değerleri

Tuğla Duvar Kalınlığı (λ=0,45 W/mK)	**U_{Duvar} (W/m^2K)**
19 cm	1,689
29 cm	1,228
39 cm	0,944
43 cm	0,888
49 cm	0,781

Çizelge 4: Taş duvar ile farklı duvar kalınlıklarında elde edilecek U değerleri

Taş Duvar Kalınlığı (λ=0,81 W/mK)	**U_{Duvar} (W/m^2K)**
50 cm	1,689
77 cm	0,892

Bunun yanısıra aerojel kullanımıyla hem yıllık toplam enerji tasarrufunda artış, hem de yıllık toplam karbon salımında önemli düşüşler olmakta, bu da binayı daha sürdürülebilir yapan bir özellik olmaktadır.

4. SONUÇLAR

Mimaride ilk dönemlerde taş duvar kullanımı ile iç mekan konforu sağlanabiliyordu. Taş duvarlara sahip binaların içi yazın serin, kışın sıcak tutulabiliyordu. Teknolojinin ilerlemesi ile yeni malzemelerin üretilmesi, ancak yanlış kullanılması ile iç mekan konforunun sağlanması mümkün olamamaya başladı. Örneğin tuğla duvarlarla binaları çevrelemek, dış ortamdan korumak daha az malzeme kullanımı ile mümkün olabiliyorken (50 cm taş duvar yerine 19 cm

tuğla duvar örülebiliyor), hiçbir ısı yalıtım önlemi alınmadığı için iç mekan konforunu sağlamak zorlaşıyordu.

Bunun için, üretilen ısı yalıtım malzemeleriyle binaları mantolamak gündeme geldi. Ancak bu durumda inceltilen duvar kalınlıkları, taş duvar kalınlığı kadar olmasa da, ısı yalıtım malzemeleri ile yine kalınlaşmaktadır. Günümüzde ise artık yalıtım malzemelerini cm bazında değil, nanoteknoloji sayesinde nanometrik boyutta üretebilmek mümkün olabiliyor. Örneğin aerojel kullanımıyla, çok ince kalınlığa sahip dış cephe elemanları (örneğin duvar, çatı) üretmek mümkün olmaktadır.

Bu çalışmada incelenen örneklerde de görüldüğü gibi aerojel malzemeyi özellikle şeffaf veya yarı şeffaf olması istenen yapı cephelerinde çok ince boyutlarda kullanmak ve aynı anda çok yüksek ısı yalıtım değerleri elde etmek mümkün olabiliyor.

Böylelikle sürdürülebilir mimarlığın şartlarından olan:

- enerji korunumu,
- minimum kaynak tüketimi,
- çevreye verilen zararın minimuma indirilmesi,
- günışığı ile aydınlatma yapılması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynağı kullanımı ve
- iç mekanda termal, görsel ve akustik konfor şartlarının gerçekleştirilmesi sağlanmış ve sürdürülebilir yapılar elde edilmiş olmaktadır.

Bu durumda **mimaride aerojel kullanımı ile** sürdürülebilirliğin **çevre**, **ekonomi** ve **toplumsal** boyutunun üçü de sağlanmış olmaktadır. Sürdürülebilir Mimarlığın ve Sürdürülebilir Yapıların elde edilmesi, "Aerojel" gibi "**Yeni ve İleri Teknolojili"** malzemelerin geliştirilmesi sonucu olacaktır.

KAYNAKLAR

1. M. Altın, Research on the Architectural Use of Photovoltaic (PV) Components in Turkey from the Viewpoint of Building Shape, Doktora Tezi (2005).
2. F. Trubiano, Design and Construction of High-Performance Homes, Routledge, (2012).
3. S. Leydecker, Nanomaterials in Architecture, Interior Architecture and Design, Birkhauser Verlag AG, Almanya, (2008)
4. A.V. Orhon, Modern yapı malzemeleri, Yapı Dergisi Sayı: 300, (2006), pp: 104-109.
5. www.ameriluxinternational.com adresinden 03.01.2014 tarihinde alınmıştır.
6. http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/dunyanin-en-hafif-materyali-grafen-aerojel/10097#ad-image-0 adresinden 03.01.2014 tarihinde alınmıştır.
7. H. Thorne-Banda & T.Miller, "38. Aerogel by Cabot Corporation: Versatile Properties for for Many Applications", Aerogels Handbook, Eds: M.A. Aegerter, N. Leventis & M.M. Koebel, Springer, (2011).
8. http://www.detail-online.com/architecture/topics/translucent-high-performance-silica-aerogel-insulation-for-membrane-structures-011654.html adresinden 17.01.2014 tarihinde alınmıştır.
9. J.M. Schultz & K.I. Jensen, "Evacuated aerogel glazings", Vacuum, 82, (2008), 723–729.
10. J.M. Schultz_, K.I. Jensen & F.H. Kristiansen, "Super insulating aerogel glazing", Solar Energy Materials & Solar Cells, 89, (2005), pp: 275–285.
11. L.W. Hrubesh, "Aerogel applications", Journal of Non-Crystalline Solids 225, (1998), pp: 335–342.

12. http://www.thermablok.com/thermal-insulation/themablok-oil-spill-cleanup-aerogel-press-release.htm, adresinden 23.02.2014 tarihinde alınmıştır.
13. WCED. (1987). *Our Common Future.* Oxford: Oxford University Press.
14. M. Altın, Bir Sürdürülebilir Mimarlık Örneği: Otonom Binalar - Dymaxion Evi, Ege Mimarlık, 83, (2013), pp.24-29.
15. http://www.solarnext.eu/eng/ref/envelopeprojects.shtml adresinden 03.01.2014 tarihinde alınmıştır.
16. http://www.solardecathlon.gov/about.html adresinden 03.01.2014 tarihinde alınmıştır.
17. http://www.zigersnead.com/current/blog/post/solar-decathlon-icarus-by-georgia-tech/10-15-2007/160/ adresinden 03.01.2014 tarihinde alınmıştır.
18. http://dougintology.blogspot.com/2007/10/solar-decathlon-aerogel.html adresinden 03.01.2014 tarihinde alınmıştır.
19. http://s3images.coroflot.com/user_files/individual_files/275809_fRQETwXW64XZ_PYcs_H5iwIrE.pdf adresinden 03.01.2014 tarihinde alınmıştır.
20. Lumira broşürü, http://solarinnovations.com/wp-content/uploads/2012/04/lumira_brochure1.pdf adresinden 17.01.2014 tarihinde alınmıştır. (www.cabotaerogel.com)
21. http://www.birdair.com/projectGallery/dedmon_center.aspx adresinden 17.01.2014 tarihinde alınmıştır.
22. http://www.facilitymanagement.com/articles/maintenance2-0209.html adresinden 17.01.2014 tarihinde alınmıştır.
23. http://archicontemporaine.org/RMA/p-8-lg0-Espace-Sportif-Le-Souchais-.htm?fiche_id=48#] adresinden 17.01.2014 tarihinde alınmıştır.

BİYOKLİMATİK MİMARİNİN ENERJİ VERİMLİLİĞİ AÇISINDAN ÖNEMİ VE UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Y.Doç.Dr. Semiha Kartal[a]
Araş. Gör. Şule Yılmaz Erten[b]
Y. Mimar Ömer Chousein
TÜ Mimarlık Fakültesi
Edirne

ÖZET

Nüfusun artmasıyla birlikte yoğun mekan talebi doğrultusunda mevcut alanların yetersiz kalması hızlı yapılaşmayı beraberinde getirmektedir. Bu yapılaşmaya paralel olarak binaların ısıtılması, soğutulması ve kullanıcıların konfor koşullarının sağlanması için büyük oranda enerjiye gereksinim duyulmaktadır. Bu anlamda, doğal kaynakların kullanımını gerektiren, çok katlı yapılarda da uygulanma olanağı sunan biyoklimatik mimari anlayışı önem kazanmaktadır. Günümüzdeki mevcut binalar ısıtma, soğutma ve aydınlatma için gerekli enerjilerini fosil yakıtlardan karşılarken, biyoklimatik binalar doğal kaynaklardan sağlamaktadırlar. Biyoklimatik mimaride amaç, kullanıcı konforu sağlanarak, güneş, rüzgar ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından pasif ve aktif olarak yararlanmaktır. Bu çalışmada amaç, enerji sorununa çözüm olabilecek biyoklimatik mimarinin özelliklerini vurgulamak ve günümüz mevcut yapılaşmaya alternatif olarak biyoklimatik mimarinin yaygınlaştırılmasını ve kullanıcılar için iklimsel konfor koşullarının sağlanmasında çözüm önerileri geliştirmesini sağlamaktır. Bu bağlamda, Yunanistan ölçeğinde biyoklimatik mimari örnekleri incelenerek, ülkenin biyoklimatik yapı profilini ortaya koymak amaçlanmıştır. Çalışmada biyoklimatik mimari özelliklerini taşıyan örnek binalar tanıtılacak ve biyoklimatik mimarinin kullanıcı konforuna, enerji tüketimine ve çevresel etkilere sağlayacağı katkısı ortaya konacaktır.

Anahtar sözcükler: Biyoklimatik mimari, Yunanistan iklim koşulları

ABSTRACT

Along with the increasing population, as a consequence of high demand for urban space, inadequacy of existing areas brings rapid construction. In parallel with these constructions, heating of buildings, cooling and in order to ensure comfort conditions for users, it is needed a large extent of energy. In this sense, bioclimatic architectural concept which requiring the use of natural resources and allows the implementation of multi-storey buildings is gaining importance. While the current existing buildings meet necessary energy for heating, cooling and lighting from fossil fuels, bioclimatic buildings provide natural sources. The aim of bioclimatic architecture is that ensuring user comfort, making use of renewable energy sources (such as solar, wind and geothermal) passive and active. The aim of this study, to highlight the characteristics of bioclimatic architecture that can solve the problem of energy and as an alternative to today's existing constructions, to provide dissemination of bioclimatic architecture and to develop solutions providing climatic conditions for the users comfort. In this study, it will be introduced that the example of bioclimatic buildings with architectural features and it will be exposed that the contribution of bioclimatic architecture to user comfort, energy consumption and environmental influences.

Key words: Bioclimatic Architecture, Climate Conditions in Greece

[a] e-posta adresi: semihak@trakya.edu.tr
[b] e-posta adresi: sule--yilmaz@hotmail.com

1.GİRİŞ

Dünya nüfusu ve teknolojinin hızlı bir şekilde gelişmesi, enerji talebinin artmasına, buna karşın enerji kaynaklarının hızla tükenmesine neden olmaktadır. Ülkelerin büyük bir çoğunluğu enerji gereksinimlerini karşılayabilmek için fosil yakıt tüketmekte ve gelirlerinin büyük bir kısmını enerji ithalatına ayırmaktadırlar. Özellikle 1970'li yıllarda yaşanan enerji krizi, bunun en somut örneklerindendir. Dünya genelinde tüketilen enerjinin % 40'lık bir kısmının yapıların ısıtılması, soğutulması ve aydınlatılması için kullanıldığı göz önüne alındığında, sürdürülebilir mimari adına atılacak en önemli adımın, yapıların enerji etkin olarak tasarlanmaları olduğu anlaşılmaktadır. Binaların ısıtma, soğutma ve aydınlatma gereksinimlerinin karşılanmasında güneş, rüzgar ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından pasif olarak yararlanma yöntemleri biyoklimatik mimarinin ana hatlarını oluşturmaktadır. Biyoklimatik mimaride, dış ortam ile iç ortam arasında opak ve saydam bileşenlerden oluşan seçici bir kabuk oluşturulmakta ve bu sayede dış ortamın istenmeyen etkilerinden korunurken, gereksinim duyulan etkilerinden de yararlanılmaktadır.

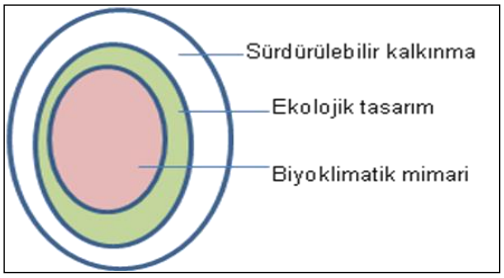
2. BİYOKLİMATİK MİMARLIĞIN GELİŞİMİ

İnsanoğlu ilk çağlardan beri çevresini denetim altına almak, amaçlarına ve etkinliklerine uygun olarak şekillendirmek çabasına girmiştir. İklimsel etmenler yapay çevreyi sekilendirmiştir. Tarihsel görünüm, insanın binlerce yıldır güneşten gelen yaşam ve enerji akışının bilincinde olduğunu ve güneş enerjisini kışın içeriye alan, yazın da dışarıda bırakan binalar yaptığını göstermektedir. Bu bağlamda biyoklimatik mimarinin yeni bir yaklaşım olmadığı, enerji verimliliği konusunun her dönem düşünülmüş olduğu Sokrates'in "Güneş Evi" ile örneklendirilebilir. Sokrates'in, M.Ö. 470 yılında yapmış olduğu Güneş Evi ve Hipokrat'ın "Hava, Su ve Yerler Hakkında" adlı eserinde biyoklimatik mimarinin yaklaşımları açıklanmıştır. Başlıca ortak hedefleri, insan ile çevre arasında uyumlu bir ilişki kurulmasını sağlayan yapılar inşa etmektir **[1].** Ayrıca bu bilincin mimariye yansıması olan Frank Lloyd Wright "Doğal Ev" (Natural House) kitabında, mimari tasarımın doğa ile organik bir bütün oluşturan ve yaşayan bir organizma olduğunu vurgulamıştır. Ayrıca konutun, çevresi ve kullanıcıları ile sürekli ilişki içinde olduğunu, kullanılan malzemelerle birlikte kullanıcıların bir bütünlük içerisinde olması gerektiğinin de altını çizmektedir.

2. Dünya Savaşı sonucunda atılan adımlar dünyanın hızlı bir sanayileşme sürecine girmesine sebep olmuş, bunun sonucunda da doğal kaynaklar hızla tüketilmiş ve oluşan atıklar doğayı kirletmeye başlamıştır. Bu duruma tepki olarak 1960'larda dünya çapında bir korumacılık anlayışı gelişmiş ve 1973 yılındaki petrol krizinden sonra enerji tasarrufu ve alternatif enerji kaynakları konusuna ilgi artmıştır. Bu ilgi ile beraber, yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan ar-ge yatırımları, bu kaynakların küresel ölçekte tercih edilmesini, yatırım ve işletme maliyetlerinin düşürülmesini ve yeni teknolojilerin verimi arttırma açısından kullanılabilir hale gelmesini hızlandırmıştır. Bu yeni anlayış ve teknik gelişim kendini mimari alanda da hissettirmiş, çevreye duyarlı, enerji tasarrufu sağlayan ve yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanan tasarımların önünü açmıştır. İklimle uyumlu mimarlık konusunda 1950'lerde başlayan teorik çalışmaların dünyanın ve insanlığın geleceğine ilişkin endişelerin başlamasıyla paralellik oluşturması, tasarımcıları uygun teknoloji ve mimari çözümler konusunda araştırmaya yöneltmiştir **[2].**

2.1. Biyoklimatik Mimari ve Tasarım Parametreleri

Dünya genelinde bir kalkınma modeli olarak ilk defa 1987 yılında öne sürülen ve genel hedefi "bugünün ihtiyaçlarını, gelecek kuşakların da kendi ihtiyaçlarını karşılayabilme olanağından ödün vermeksizin karşılamak"**[3]** olan, "Sürdürülebilir Kalkınma" modelinin ve buna paralel olarak gelişen, doğaya müdahale etmeden onu beraber yaşanılacak bir eş gibi gören, doğaya uyumlu tasarımların yapılmasını hedefleyen biyoklimatik mimari "Ekolojik Tasarım" anlayışının bir parçasıdır (**Şekil 1**).



Şekil 1: Biyoklimatik mimarinin, ekoloji ve sürdürülebilirlik ile ilişkisi

Biyoklimatik mimari, güneş enerjisi ve diğer doğal kaynakların değerlendirilerek, bölgesel iklim koşullarının baz alındığı, ısısal ve görsel konfor şartlarının hedeflendiği, enerji tüketimi düşük iç ve dış mekan tasarımı olarak adlandırılmaktadır **[4,5,6].** Kullanıcıların ısısal ve görsel konforunu sağlamak amacıyla, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanarak, bölgenin iklim verilerini ve bina topoğrafik konumunu dikkate alan ve geleneksel yakıt tüketiminin azaltılmasını hedefleyen çevreye uyumlu yapı tasarımı olarak tanımlanabilir **[7,8].** Biyoklimatik tasarım süreci, bölgesel iklim koşulları ve çevresel faktörler göz önünde bulundurularak, yapının çevreye uyumunun sağlanması ve çevre ile bütünleşmesidir. Ayrıca kullanıcıların konfor şartlarını etkilemeksizin, ısıtma, soğutma ve aydınlatmada, enerji tüketiminin azaltılmasını hedeflemelidir **[9,10,11].**

Sonuç olarak biyoklimatik mimari, fiziksel ve yapılı çevre etmenleri göz önünde bulundurarak, yapıda iç mekan konfor şartlarının sağlanması için ısıtma, soğutma ve aydınlatmada, doğal ve yenilenebilir enerji (güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji) kaynaklarının kullanıldığı mimari anlayış olarak tanımlanabilir. Yapılarda kullanılan yenilenebilir enerji kazancı sistemleri kadar yapının bulunduğu bölgedeki fiziksel ve yapılı çevre parametreleri ile iç mekana ve kullanıcıya ilişkin parametreler de önemlidir. Fiziksel çevre parametreleri, yapının bulunduğu bölgenin iklimi, topografik yapısı ve bitki örtüsüdür. Yapılı çevre parametreleri ise, daha çok tasarım aşamasında belirlenen ve binanın araziye konumu, güneşe göre yönlenmesi, formu, çevredeki binalarla olan ilişkisi, bina kabuğu ve yalıtım özellikleri, bina açıklıkları ve mekan organizasyonudur. İç mekana ve kullanıcıya ilişkin parametreler de, mekanı kullanan kişinin kendini rahat hissetmesini sağlayacak, sıcaklık, nem, hava akım hızı, hava kalitesi, ortalama ışıma sıcaklığı, aydınlatma, aktivite ve giyinme olarak tanımlanmaktadır. Biyoklimatik mimari anlayışında bu parametrelerin değerlendirilmesinde yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmaktadır.

2.2. Biyoklimatik Mimaride Kullanılan Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Yararlanma Yöntemleri

Yenilenebilir enerji kaynakları, herhangi bir üretim sürecine gereksinim duyulmadan sağlanan, kömür, petrol gibi fosil kaynaklı olmayan, çevreye olan zararı konvansiyonel enerji kaynaklarına göre daha düşük ve sürekli bir devinimle kullanılmaya hazır olan, hidrolik, rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle, biyogaz, dalga, akıntı enerjisi ve gel-git, hidrojen gibi enerji kaynaklarıdır.

Biyoklimatik mimaride kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma yöntemleri aktif, pasif ve karma(aktif+pasif) şeklindedir. **Aktif (etken) yararlanma yöntemlerinde,** enerji üretimi veya mekanın ısıtılması için ek enerjiye gereksinim söz konusudur. Enerji üretiminde ek fanlar, pompalar ve akışkanlar kullanılmaktadır. **Pasif (edilgen) yararlanma yöntemlerinde** herhangi bir yardımcı sisteme gerek duymadan enerji kaynağından yararlanarak enerji üretimi söz konusudur. **Karma (etken+edilgen) yararlanma yöntemler** ise aktif ve pasif yöntemlerin birlikte kullanıldığı sistemlerdir. Bu sistemde, pasif sistemler aktif donanımlar ile birlikte kullanılmaktadır. Biyoklimatik mimari uygulamalarda yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma yöntemleri çoğunlukla güneş, rüzgar, jeotermal ve biyokütle enerjisi kaynaklı olup; ısıtma, soğutma ve aydınlatmada yararlanılan yöntemler şeklinde değerlendirilmiştir.

Isıtma enerjisi eldesinde, tasarlanan mekanların güneşe göre konumlanışı ile güneş ısısından yararlanılabilir ve enerji tüketimini aza indirerek tasarruf elde edilebilir. Kuzey yarımküre için güney yönü, kış döneminde mekanın ısıtılması, yaz döneminde ise güneş ışınlarından korunulması açısından önemlidir. Yapı kabuğunda bu durum göz önünde bulundurularak; güney açıklıkları, çatı açıklıkları, güneş duvarları (Trombe duvarı + su duvarı + saydam yalıtımlı duvar), kış bahçesi, çatı havuzu, termosifon (sürekli dolaşım halkası) sistemleri ve çift kabuk gibi çeşitli yöntemlerin uygulanması mümkündür **[12].**

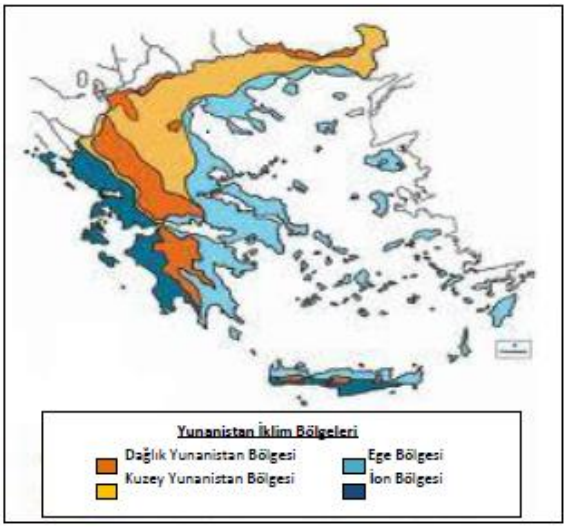
Konfor şartlarının sağlanması için, binaların ısıtılması kadar soğutulması ve havalandırılması da önemlidir. Soğutmada amaç binanın öncelikle dış ortam sıcaklığından korunması ve içerideki kirli hava ile dışarıdaki temiz havanın yer değiştirmesidir. Bu durumun gerçekleşebilmesi için; havalandırma, ışıma, buharlaşma ve toprakla soğutma şeklinde farklı yöntemlerin uygulanabilmesi mümkündür **[12].**

Aydınlatma enerjisi için, yapıların günışığından yararlanmaları genellikle pencereler ve diğer açıklıklar vasıtası ile gerçekleşmektedir. Ancak mekanların büyüklükleri ve derinliklerine bağlı olarak bu açıklıklar tek başlarına yeterli olmayabilir. Pencere veya açıklıklardan uzaklaşıldıkça günışığının etkisi azalmakta ve yetersiz kalmaktadır. Bu gibi durumlarda günışığının etkisini arttırmak için, aktif yöntemlere alternatif olarak pasif yöntemlerden de yararlanmak mümkündür. Mekanların aydınlatılmasında güneş enerjisinden pasif olarak yararlanılan sistemler mevcuttur. Bu yöntemler doğal aydınlatmadan yararlanamayan mekanlara günışığını yönlendirerek, yansıtarak veya aktararak, o mekanın aydınlanmasını sağlamaktadır ve kullanımları giderek yaygınlaşmaktadır. Işık rafları, ışık panjurları, ışık tüpleri, heliostat, prizmatik sistemler ve özel camlar (fotokromik, termokromik, elektrokromik, gazokromik, sıvı kristal camlar) örnek gösterilebilir **[12].**

3. YUNANİSTAN İKLİM ŞARTLARI ALTINDA BİYOKLİMATİK MİMARİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE YAPI ÖRNEKLERİ

Biyoklimatik mimari eski çağlardan beri Yunan konut tasarımının temelini oluşturmuştur. Bölgenin iklimi ve Yunan halkının yaşam koşulları, tasarım kriterlerinin şekillenmesinde önemli rol üstlenmiştir. Antik çağda şehirler, birbirini dik kesen ve birbirine paralel dolaşım ağları şeklinde tasarlanmışlardır ve kentin merkezinde Agora denilen meydan, stoa, kütüphane, yönetim binaları ve sanat atölyeleri bulunmaktadır. Antik çağda, önemli yerleşmelerin büyük bir çoğunluğu kıyıda yer almıştır. Akdeniz kıyılarında yerleşen kentler, coğrafyanın özelliklerini değerlendirmişler ve deniz kıyısında ya da kıyıya koşut dağlar ile kıyı çizgisi arasındaki düzlük alanda konumlanmışlardır. Kıyıdan içeride ve yüksek bir tepede kurulan kentler, hem deniz kontrolü ile güvenlik sorunlarını aşmış, hem de tarımsal faaliyetlerin denetimini sağlayan görsel bir egemenlik sağlamıştır. Bu kentlerin kıyıda inşa ettikleri yapılar arasında; limanlar, antrepo ve depolar, tersane ve gemi tezgâhları, kaleler ve kara-deniz surları, sanayi tesisleri ve fabrikalar, konutlar, ticaret yapıları, kamu yapıları, anıtsal yapılar, kültür, dinlenme ve eğlence yapıları yer almaktadır **[13].**

Yunanistan'ın coğrafi konumu (34-42° Kuzey enlemleri), Akdeniz ile olan yakınlığı, uzun sahil şeridi ve zengin yeryüzü şekilleri Yunanistan ikliminin belirlenmesinde etkin rol oynamaktadır. Kuzey bölgeleri Güneydoğu Avrupa iklim koşulları etkisi altında iken, güney bölgeleri Akdeniz ikliminden etkilenmektedir **[14].** Kış dönemleri ılıman ve nemli, yaz dönemleri ise sıcak ve kuru bir iklime sahiptir. Yılın büyük bir bölümü güneşli ve uzun süreli bulutlanma görülmemektedir. Yunanistan iklimi Akdeniz iklimi sınırları içinde kalmakla beraber, farklı iklim tiplerine sahiptir. Bu durum farklı yüksekliğe sahip olan ülkenin topoğrafik oluşumlarından (ülke uzunluğu boyunca devam eden büyük sıradağlar) ve kara–deniz değişiminden kaynaklanmaktadır Bölgelerin birbirlerine göre farklı yükseklikte olmaları, denize olan uzaklıklarının az veya çok olması ve farklı güneşlenme oranlarına sahip olmaları iklimsel olarak değişimine neden olmaktadır. Bu nedenle Yunanistan iklimi; Dağlık Yunanistan Bölgesi, Kuzey Yunanistan Bölgesi, Ion Bölgesi ve Ege Bölgesi şeklinde dört bölgeye ayrılmıştır **(Şekil 2)[15].**

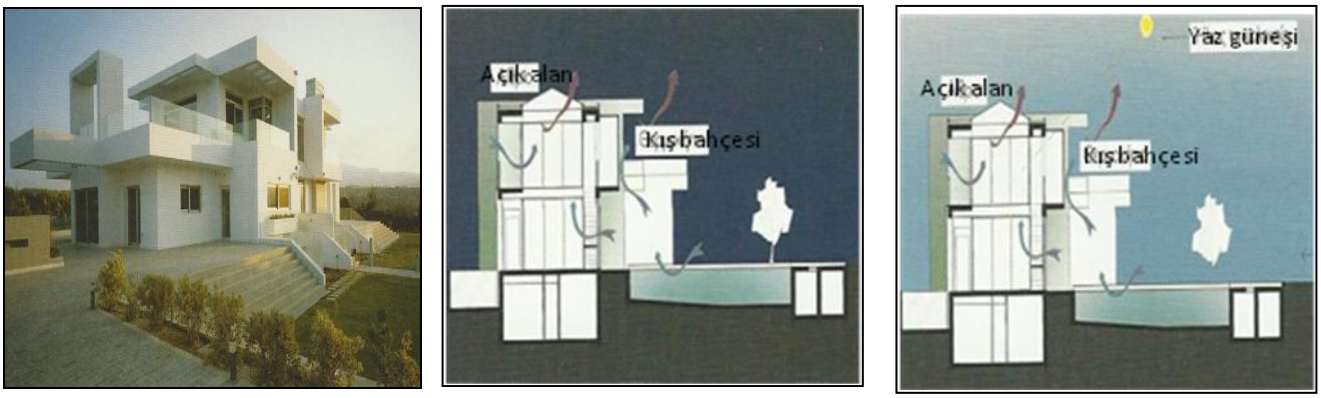


Şekil 2: Yunanistan iklim bölgeleri haritası**[15]**

Yunanistan iklim özellikleri ve coğrafi konumu, biyoklimatik mimarinin gelişimi için önemli veriler sunmaktadır. Yunan halkı yaşam tarzının açık ve yarı açık mekanlar etrafında şekillenmesi, antik çağlardan beri biyoklimatik mimarinin Yunanlılar tarafından benimsenmiş olduğunun göstergesidir. Yunanistan'daki biyoklimatik mimari profilinin ortaya çıkarılması amacıyla çalışma kapsamında yaklaşık 40 adet yapı ele alınmıştır **[12].** Ancak burada örnek teşkil etmesi anlamında 5 farklı yapı verilmiştir.

3.1. İrakleio'da Biyoklimatik "Akıllı" Ev

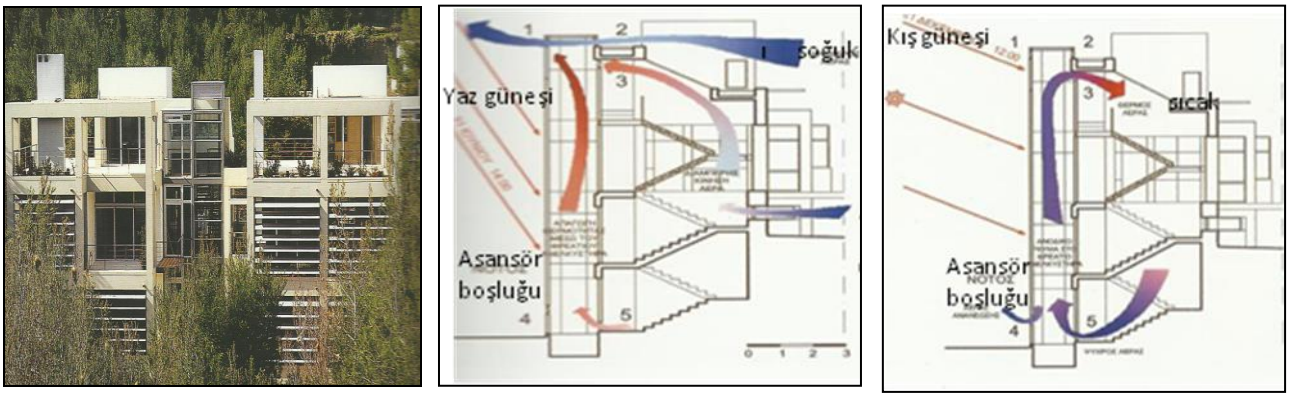
2010 yılında tamamlanmış olan yapı, 200 m^2'lik toplam kullanım alanına ve dikdörtgen plan şemasına sahip, arsanın merkezine konumlanmış, biyoklimatik mimari tasarım kriterleri baz alınarak tasarlanmış ve bazı otomasyonların eklenmesiyle "akıllı ev" olarak adlandırılmıştır. Yapıda kullanılan biyoklimatik öğeler; kış bahçesi, açıklıklarda betonarme gölgeleme elemanları, açık alanlarda ahşap pergole kullanımı, ısıtma ve soğutma için yatay jeotermal ısı pompası ve yerden ısıtma sistemi, buharlaşma yoluyla serinleme içi havuz kullanımı, yüksek derecede ısı yalıtımı ve tüm uygulamalar için merkezi kontrol sistemidir. Ayrıca atık sular biyolojik dönüşüm sistemi ile temizlenerek bitki ve ağaçların sulanmasında tekrar kullanılmaktadır **[16].**



Şekil 3: İraklioda biyoklimatik konut- gündüz ve gece havalandırması [16]

3.2. Kifisia'da Çift Konut

2000 yılında tamamlanan yapı, 750 m^2 arsaya ve 457 m^2 toplam kullanım alanına sahip ve 4 katlıdır. Yapının taşıyıcı sistemi betonarme, duvarlar ise geleneksel tuğladan inşa edilmiştir. Kuzey cephesi ek yalıtım sağlamak ve nemden korunmak amaçlı doğal taş ile giydirilmiştir Topografyaya uygun yönlenme, doğal havalandırma ve aydınlatma, güneş bacası, güney açıklıkları, bitki örtüsü kullanımı, güneş ve rüzgar kırıcılar dikkate alınan başlıca biyoklimatik öğelerdir **[17].** Arsanın topografik şeklinden dolayı güney cephesi 4 kat yüksekliğinde iken, kuzey cephesi 2 kat yüksekliğindedir. Kuzey-güney aksında büyük açıklıklar bırakılmıştır. Bu açıklıklar yapıyı yaz güneşinden koruyan yaprak döken ağaçlarla korunmuştur.



Şekil 4: Kifisia'da Çift Konut- yaz ve kış dönemlerinde güneş bacasının çalışma şeması [17]

3.3. Biyoklimatik Apartman "OPIO 72"

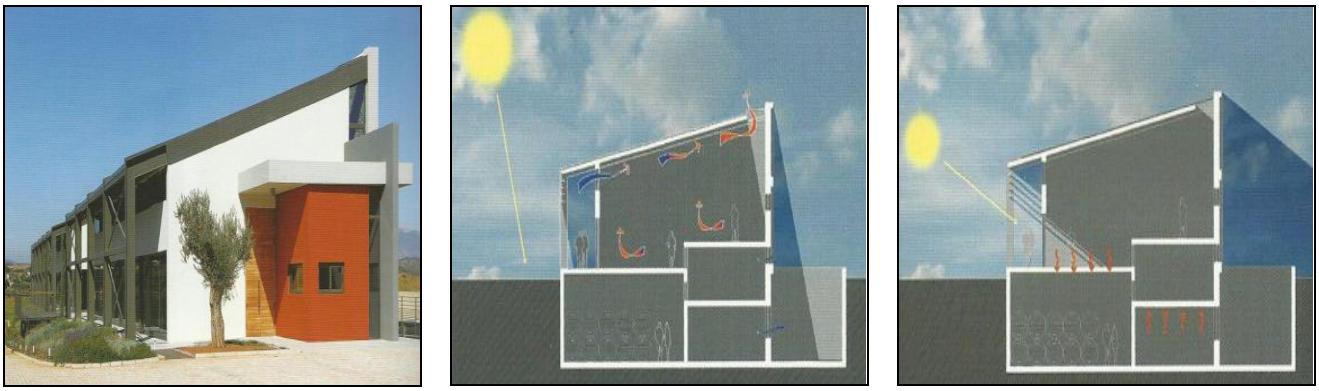
2012 yılında tamamlanan yapı, 600.10 m^2 kullanım alanına sahip, zemin ve bodrum katlarını kullanan iki adet dubleks daire, 1. ve 2. katlarda kat dairesi ile 3 ve 4. katları kullanan geniş teras alanına sahip iki adet dubleks daireden oluşmaktadır. Yapının ana tasarım fikri, kullanıcı farklılığı düşünülerek, apartmandaki her kullanıcının kendini müstakil evde hissetmesine olanak tanıyan bir tasarım anlayışı şeklindedir. Tasarım ölçütü olarak yapının yönlenmesi, arsanın topografik özellikleri ve iklimsel veriler baz alınmıştır. Arsanın ana aksı, güney ve güneydoğu ile 30°'lik bir açı yapmakta ve arsa orta yoğunluktaki bir yerleşim bölgesinde bulunmaktadır. Güneş ışınımından ve yeşil ile deniz manzarasından yararlanmak için tüm yaşam alanları güneye, banyo ve merdivenler gibi mekanlar kuzeye yönlendirilmiştir. Güney cephedeki açıklıkların boyutları artmakta, doğu ve kuzey cephelerindeki açıklıklar ise doğal havalandırma ve aydınlatma amacıyla küçük boyutlarda tasarlanmışlardır. Batı cephesinde ise manzaraya yönlenme gereksimi nedeniyle büyük açıklıklar bırakılmıştır. Yapı düşey elemanlarında 5cm., terasta 10cm. kalınlığında XPS yalıtım malzemesi, açıklıklarda ise düşük ısı geçirgenlik katsayısına sahip low-e camlar kullanılmıştır. Zemin döşemesinin büyük bir kısmı 80cm. derinliğinde ekilebilir döşeme olarak tasarlanmıştır. Böylece -1.00 kotundaki yaşam alanları yalıtılmış olmaktadır **[18].**



Şekil 5: OPIO 72'nin dış görünüşü - kullanılan biyoklimatik ögeler [18]

3.4. Attiki'de Biyoklimatik Şaraphane

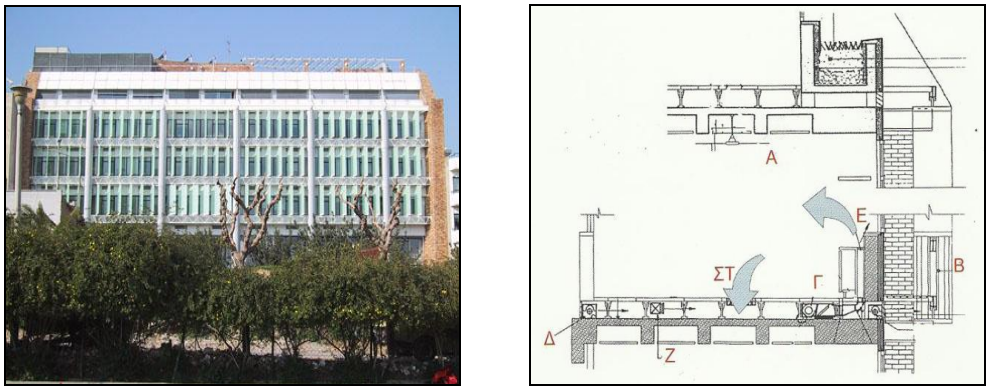
Yapı 2007 yılında tamamlanmış olup, 1700 m^2 kullanım alanına sahiptir. Taşıyıcı sistem olarak betonarme ve çelik strüktür bir arada kullanılmıştır. Kuzey cephesi ve bodrum kat betonarme, çatı ve diğer kısımlar ise çelik strüktür olarak inşa edilmiştir. İç mekan duvarlarında kaplama olarak Markopoulou bölgesinden elde edilen yaprak kayaç taşları kullanılmıştır. Yapıda uygun yönlenme, güney açıklıkları, çatı açıklıkları, karşılıklı havalandırma, gölgeleme elemanları, doğal aydınlatma ve yüksek ısı yalıtımı gibi biyoklimatik yaklaşımlar dikkate alınmıştır. Mevcut yapı için konfor şartları ve enerji tasarrufu açılarından farklı senaryolara göre farklı iklimlerde bilgisayar simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar geleneksel bir yapıya göre enerji gereksiniminde azalma ve konfor şartlarında iyileşme olduğunu göstermiştir **[17].**



Şekil 6: Şaraphane binasının dış görünüşü- biyoklimatik yaklaşımların yaz- kış çalışma prensibi [17]

3.5. ABAX Ofis Binası

Kullanım alanı 3050 m^2 olan yapı, Atina'nın yoğun yapılaşmaya sahip bölgesinde bulunan 500 $m2$'lik bir arsa üzerine kurulmuştur. Binanın ana cephesi doğu yönüne bakmakta ve sabah güneşinin etkisi altında kalmaktadır. Batı cephesi komşu yapılar tarafından gölgelenmekte, kuzey ve güney yönüne bakan kısa cepheler ise komşu yapılarla bitişik durumdadır. Yapının doğu cephesinde iç cepheyi ısı kazançlarından koruyan ve kontrollü bir doğal aydınlatma sağlayan bir dış katman kullanılmıştır. Çift katmanlı olarak tasarlanan cephenin en önemli özelliği %70 oranında gölgeleme sağlayan ve güneş ışınımına otomatik olarak tepki veren cam levhalardır. En üst katta ise gölgeleme elemanı olarak otomatik yatay güneş kırıcılar kullanılmıştır. Ayrıca kullanıcılar tarafından kontrol edilebilen iç güneş kırıcılar da bulunmaktadır.
Isıtma ve soğutma sistemi yükseltilmiş döşemelerin altına yerleştirilmiş ve yükseltilmiş döşemeler temiz havanın işlenmesi ve gece havalandırması için hava deposu görevi görmektedir. Mekana hava girişi pencere seviyesine yerleştirilen menfezlerden(E), çıkış ise döşemedeki menfezlerden (ΣT) olmaktadır. Bunların yanı sıra tavan pervaneleri(A), hareketli güneş kırıcılar (B), iklimlendirme mekanizmaları (Γ) ve gece havalandırması mekanizmaları (Δ) bulunmaktadır **[19].**



Şekil 7: ABAX ofis binası dış görünüş - Isıtma ve soğutma sisteminin çalışma prensibi [**19**]

4. SONUÇLAR

Sürdürülebilir Kalkınma kavramının ortaya atıldığı günden beri enerji ve çevre konularına dünya genelinde özel bir duyarlılık oluşmuş, bu konuda ülkeler bazında strateji ve politikalar geliştirilmiştir. Biyoklimatik mimari de oluşan bu duyarlılığın bir ürünü olarak ortaya çıkmıştır. Yapılarda tüketilen enerjinin, toplam enerji tüketimindeki payı %40 olduğu düşünüldüğünde, biyoklimatik mimarinin enerji ve çevre konularındaki sorunlara çözüm olma potansiyelinin çok yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

Yunanistan'daki biyoklimatik uygulamaları, bulundukları iklim bölgesine, yapıların işlevlerine, yapıların fiziksel ve yapılı çevre parametrelerine uygunluğuna ve yapılarda kullanılan etken ve edilgen yöntemlere göre değerlendiren bir çalışma yapılmıştır **[12].** Çalışmada Yunanistan iklim koşullarında biyoklimatik mimari profiline bir bakış açısı oluşturabilmek amacıyla 40 yapı incelenmiştir. Ancak bu çalışma kapsamı içerisinde temsili olarak birkaç yapı tanıtılmıştır. Çalışmaya göre, incelenen biyoklimatik yapıların, Yunanistan iklim bölgesine göre dağılımı en fazla Ege bölgesinde olup, işlevlerine göre en fazla konut ve daha sonra kamu yapıları olduğu belirlenmiştir. Ayrıca fiziksel çevre parametrelerinde iklimsel verilerin, yapılı çevre parametrelerinde de bina kabuğu ve bina aralıklarının yapıların tamamında dikkate alındığı görülmüştür. İncelenen yapılarda kullanılan pasif yöntemlerden ısıtma için güney açıklıkları, soğutma için havalandırma, aydınlatma için ise pencere ve çatı ışıklıkları en fazla tercih edilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde de en fazla sırasıyla biyokütle, güneş ve jeotermal enerjisi kullanılmıştır.

Biyoklimatik mimarinin gelişimi ile birlikte Yunanistan'da yapılmış olan biyoklimatik uygulamaların incelendiği bu çalışmada, mimari uygulamalarda enerji verimli binaların oluşturulmasında biyoklimatik yaklaşımların önemi vurgulanmaya çalışılmıştır. Dünyanın temel sorunlarının kaynağı olan enerji konusunda yapılan bu çalışmaların önemi büyüktür. Ülke bazında enerji tüketim payına sahip her sektör kendi alanı ile ilgili çalışmalarında enerjiye dönük iyileştirmelerle katkı sağlayarak bu konunun önemine dikkat çekmektedir. Ayrıca yapılan bu çalışmanın diğer ülke potansiyellerine ve iklim koşullarına bağlı olarak değerlendirilebilmesi de mümkündür.

KAYNAKLAR

1. www.prooikein.gr

2.Kısa Ovalı, P., "Türkiye İklim Bölgeleri Bağlamında Ekolojik Tasarım Ölçütleri Sistematiğinin Oluşturulması (Kayaköy Yerleşmesinde Örneklenmesi)", Trakya Üniversitesi, Doktora Tezi, 2009

3. Özlüer, F., "Sürdürülebilir Kalkınmanın Ekonomi Politiği", TMMOB Mimarlar Odası Ankara Şubesi, Bülten 51, Haziran 2007, Ankara

4. Axarli, K., "Γενικές Αρχές του Βιοκλιματικού Σχεδιασμού", Τ.Ε.Ε. Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας, Selanik, 2009

5. Chrisomallidou, N., "Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων", ΚΤΙΡΙΟ Dergisi, sayı:136, s.31, 2001

6. Lazari, E., A., "Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων στην Ελλάδα", ΚΤΙΡΙΟ Dergisi, sayı:146, s.45, 2002

7. Argiraki, M., "Βιοκληματικός Σχεδιασμός, Ηλιακά Παθητικά Συστήματα και Άλλες Τεχνικές Εξοικονόμησης Ενέργειας στον Κτηριακό Τομέα", Ε.Μ.Π. Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Θερμότητας, Diploma tezi, Atina, 2008

8. Siampekou , C., "Λειτουργική και Αισθητική Ένταξη Συστημάτων Αξιοποίησης της Ηλιακής Ενέργειας στα Κτίρια", Patra Üniversitesi, Pozitif Bilimler Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Diploma Tezi, Patra, 2005

9. Zafeiropoulos, A., "Ενεργειακή Μελέτη Κτιρίου με Βιοκλιματικά Κριτήρια", Patra Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği ve Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Diploma Tezi, Patra, 2011

10. Μαρουλάς, Β., "Οδηγός Ενεργειακού Σχεδιασμου – Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική & Εξοικονόμηση Ενέργειας", Κτίριο Εκδόσεις Ε.Π.Ε., Selanik, 2011

11. Aravantinos, D., "Κλίμα & Βιοκλιματική Αρχιτεκτονκή", ΚΤΙΡΙΟ, Αρχιτεκτονική & Ενέργεια, Τεχνικές Σελίδες, 2009

12. Chousein, Ö., "Biyoklimatik Mimari ve Yunanistan İklim Şartları Altında Değerlendirilmesi" T.Ü, FBE, Yüksek Lisans tezi, Edirne, 2013

13. Köksal, G, T., Kargın, H, H., "Akdeniz'de Suyla Gelen Kültürün ve Mimarinin İzleri", İnternational Gazimagusa Symposium, Gazimagusa, 2004

14. www.greenbelt.gr

15. www.astakos-news.gr

16. ΚΤΙΡΙΟ, "Οδηγός Ενεργειακού Σχεδιασμου – Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική & Εξοικονόμηση Ενέργειας", Κτίριο Εκδόσεις Ε.Π.Ε., Selanik, 2011

17. Mantziou, L., "Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική στην Ελλάδα", ΕΡΓΟΝ IV Εκδόσεις Αρχιτεκτονικών Βιβλίων, Atina, 2009

18. Gavalas, A., "ΟΡΙΟ 72 – Βιοκλιματική Πολυκατοικία στη Γλυφάδα", ΚΤΙΡΙΟ Dergisi, Αρχιτεκτονική & Ενέργεια, sayı: 6, 2012

19. Tombazis, A., "ΑΒΑΞ Α.Ε. Κτίριο Γραφειών", Μελετιτική – Γραφείο Μελετών Αλέξανδρου Ν. Τομπαζή Ε.Π.Ε., THERMIE/EC-2000, 1998

ANKARA'DA BİR FAKÜLTE BİNASININ "BİNALARIN YANGINDAN KORUNMASI HAKKINDA YÖNETMELİK"KAPSAMINDA İNCELENMESİ

Prof.Dr. Füsun Demirel[a]
Özlem Hoçanlı[b]
Tuba Tunç Kurt[c]
Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi
Maltepe, Ankara, 06570

ÖZET

Yangın, geçmişten günümüze kadar her türlü yapıyı tehdit eden önemli bir tehlike kaynağıdır. Ancak yapılarda yangın riski, yeni yapılacak binalarda tasarım aşamasından başlayarak, mevcut yapılarda ise kısmi tadilatlar yapılarak alınacak birtakım önlemlerle en aza indirgenebilmektedir. Önlemlerin alınmasında, mimarlara ve diğer meslek gruplarına "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik" yol gösterici olmaktadır. Bu bağlamda çalışmada; Ankara'da bir fakülte binasına ait öğretim elemanları ofis ve dekanlık bloğu, 'Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik' kapsamında kontrol tabloları oluşturularak değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda blokların yönetmeliğe uygun olmadığı saptanmış ve geliştirilen öneriler sonucunda alınacak tedbirlerle, yönetmeliğe uygun hale getirilmiştir.

Anahtar sözcükler: Binalarda yangın güvenliği, Ofis, Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik

ABSTRACT

Fire is a major source of danger threatening all kinds of buildings from past to present. However, the risk of fire in buildings can be minimized with actions which will be taken at designing process for new buildings or partial reconditioning for existing buildings. "Regulations of Fire Safety in Buildings " is a beacon in the making precautions for architects and other occupational groups. In this study, a faculty building in Ankara which contains lectures' and dean's office according to "Regulations of Fire Safety in Buildings " are evaluated with control panels. As a result, the evaluations indicated that blocks aren't planned as in regulation and with suggestions about precautions, blocks will be made compatible with regulation.

Key words: Fire Safety in Buildings, Office, Regulations of Fire Safety in Buildings.

[a] e-posta adresi: fusund@gazi.edu.tr
[b] e-posta adresi: ozlem6085@hotmail.com
[c] e-posta adresi: tubatuncakay@gmail.com

1.GİRİŞ

Yangın tehlikesi, günümüzde dünyanın her yerinde ve her alanda insanlar için çok önemli bir risk oluşturmaktadır. Çok büyük can ve mal kayıplarına sebep olan yangın riski ne yazık ki yok edilememektedir. Ancak çeşitli tedbirlerin alınmasıyla, sebep olduğu zararları en aza indirmek mümkün olmaktadır **[1]**. Bu çalışmada yüksek kullanıcı yüküne sahip olması, kamu binası ve "mevcut bina **[2]**" olmasından dolayı örneklem için Ankara'da bulunan bir fakülte binasının dekanlık ve öğretim elemanları ofis bloğu araştırma konusu olarak seçilmiştir.

1.1. Amaç

Çalışmada; fakülte içerisinde bulunan dekanlık ve öğretim elemanları ofis bloğunun mevcut durumdaki yangın güvenliği; Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY), **[2]** maddelerine göre incelenerek ve değerlendirme sonucunda binanın yangın güvenliğinin düşük olması durumunda önerilerde bulunularak, yönetmeliğe uygun hale getirilmesi amaçlanmıştır.

1.2. Kapsam

Bu bildiri kapsamında dekanlık ve öğretim görevlileri ofis bloğunun en yoğun katı olan zemin ve 1. katı, BYKHY hükümlerine göre analizi yapılmıştır.

1.3. Yöntem

Çalışmada BYKHY onuncu kısmında yer alan "Mevcut Binalar Hakkında Uygulanacak Hükümler"in yer aldığı 138. madde ile 159. maddeler arasında yer alan maddeler; kontrol tabloları oluşturularak incelenmiş, binayla ilgili olmayan maddeler, kontrol tablolarına eklenmemiştir. Yapılan değerlendirme ışığında blokların yönetmeliğe uygun olmadığı saptanmış ve geliştirilen öneriler sonucunda alınan önlemlerle, yönetmeliğe uygun hale getirilmiştir.

2. DEKANLIK VE ÖĞRETİM ELEMANLARI OFİS BLOĞUNUN MEVCUT DURUMUNUN "BİNALARIN YANGINDAN KORUNMASI HAKKINDA YÖNETMELİK" MADDELERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ

Fakülte binasının yer aldığı yerleşke, Ankara'da üniversite ve eğitim kurumlarının yoğunlaştığı bir bölgede yer almaktadır. Yerleşke 21,184 m2 alan üzerine kurulmuştur.

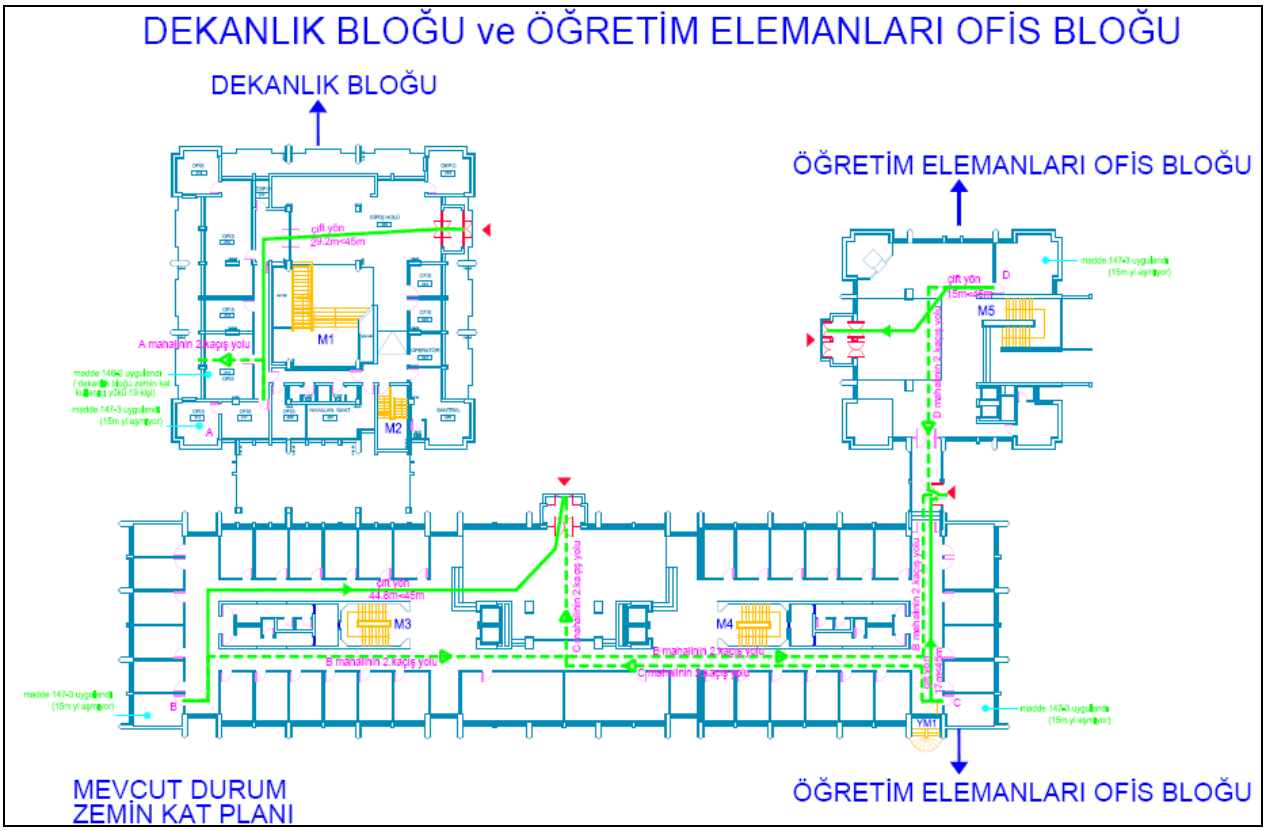
Dekanlık ve öğretim elemanları ofis bloğu 2170 m2' lik bir zemin alanı üzerine kurulmuş olup, dekanlık bloğu bodrum, zemin kat ve 1 kattan oluşmaktadır. Dekanlık bloğunun bina yüksekliği 7.55 metre, yapı yüksekliği 17.85 metredir. Öğretim elemanları ofislerinin bulunduğu blok ise; bodrum, zemin ve 8 kattan oluşmaktadır **(Resim 1).** Öğretim elemanlarının bulunduğu bloğun bina yüksekliği 30 metre, yapı yüksekliği ise 34.55 metredir.



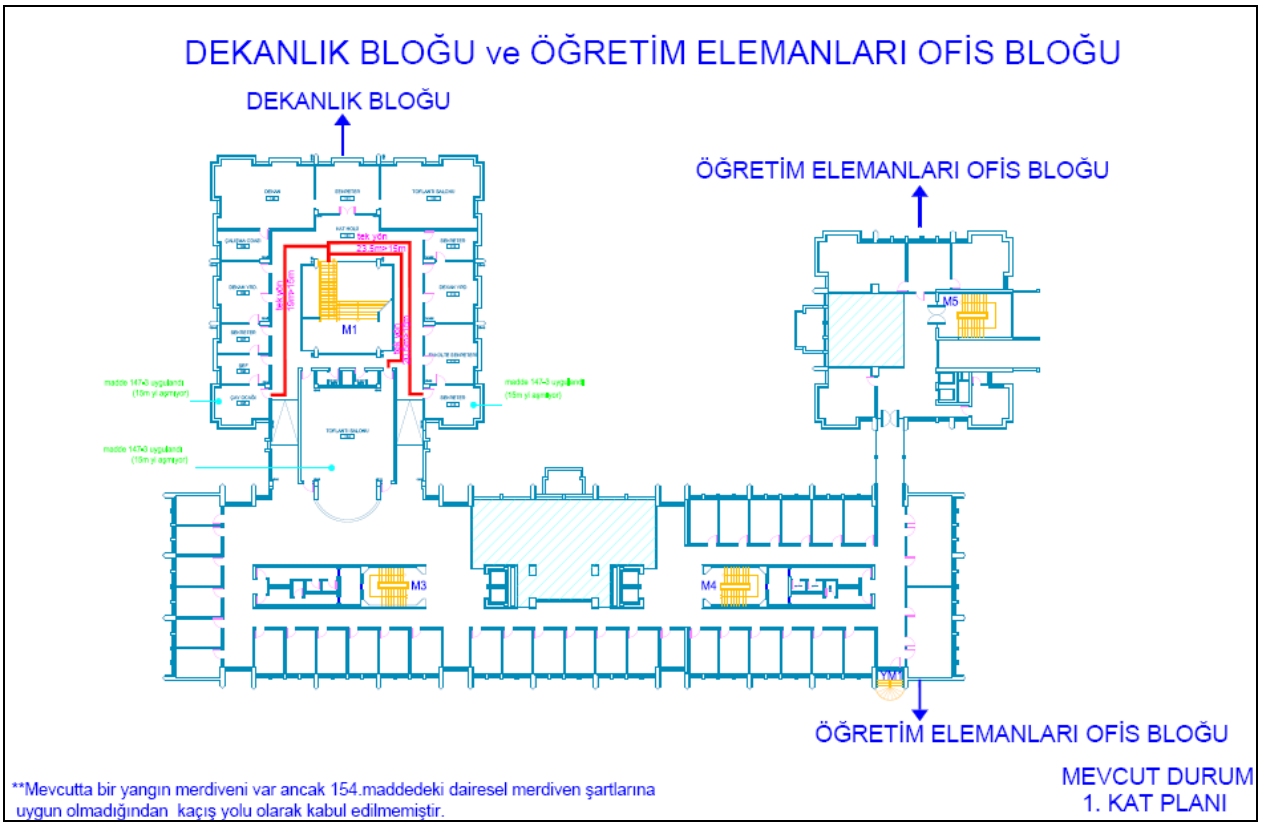
Resim 1: Dekanlık bloğu ve öğretim elemanları ofis bloğu

Blokların en yoğun katı olan zemin kat **(Şekil 1)** ve 1. kat; BYKHY göre yangın güvenliği açısından değerlendirilmiştir. Blokların kontrol tabloları oluşturularak yapılan değerlendirilmesinde, 138. Madde ile 159. maddeler arasında yer alan maddelerden; 138, 141, 146, 147, 148, 150, 151, 152, 154, 156, 157 ve 159 maddeler ile 31. madde de yer alan hükümler ele alınmıştır. Öğretim elemanları ofis bloğunda yer alan merdivenler, korunumsuz merdivenler olarak düzenlenmiştir **(Şekil 2).** Dolayısıyla bu merdivenler kaçış merdiveni olarak düşünülemeyecektir. Dekanlık bloğunda yer alan ve bir kat inilip çıkılan açık merdiven; BYKHY 31. Madde, 7. fıkrada geçen, bina dışına ulaşım noktasına uzaklığı, tek yön mesafesi olan Ek-5/B' de belirtilen uzaklıklara (15 metre) uygun olmadığı için de kaçış yolu olarak değerlendirilmemiştir. Öğretim elemanları ofis ve dekanlık bloğu zemin katta yer alan çıkış mesafeleri, yönetmeliğe uygun olmasına rağmen çıkış kapılarının özellikleri yönetmeliğe uygun değildir. Öğretim elemanları ofis bloğunda bir adet dairesel merdiven vardır. Ancak, kullanıcı

sayısı; 175 kişi ve yapı yüksekliği; 30.50' den fazla olduğu için mevcutta yer alan dairesel merdiven kaçış yolu olarak değerlendirilmemiştir.



Şekil 1: Kaçış yolları ve dekanlık - öğretim elemanları ofis bloğu **mevcut durum** zemin kat planı (yeşil çizgi; BYKHY gore; mesafe açısından uygun kaçış yolunu, kırmızı renk ve çizgi ise uygun olmayan kaçış yolunu ifade etmektedir)



Şekil 2: Kaçış yolları ve dekanlık - öğretim elemanları ofis bloğu **mevcut durum** 1. kat planı (yeşil çizgi; BYKHY gore; mesafe açısından uygun kaçış yolunu, kırmızı renk ve çizgi ise uygun olmayan kaçış yolunu ifade etmektedir)

Çizelge 1: Dekanlık ve Öğretim elemanları ofis bloğunun " Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik" maddelerine uygunluk tablosu

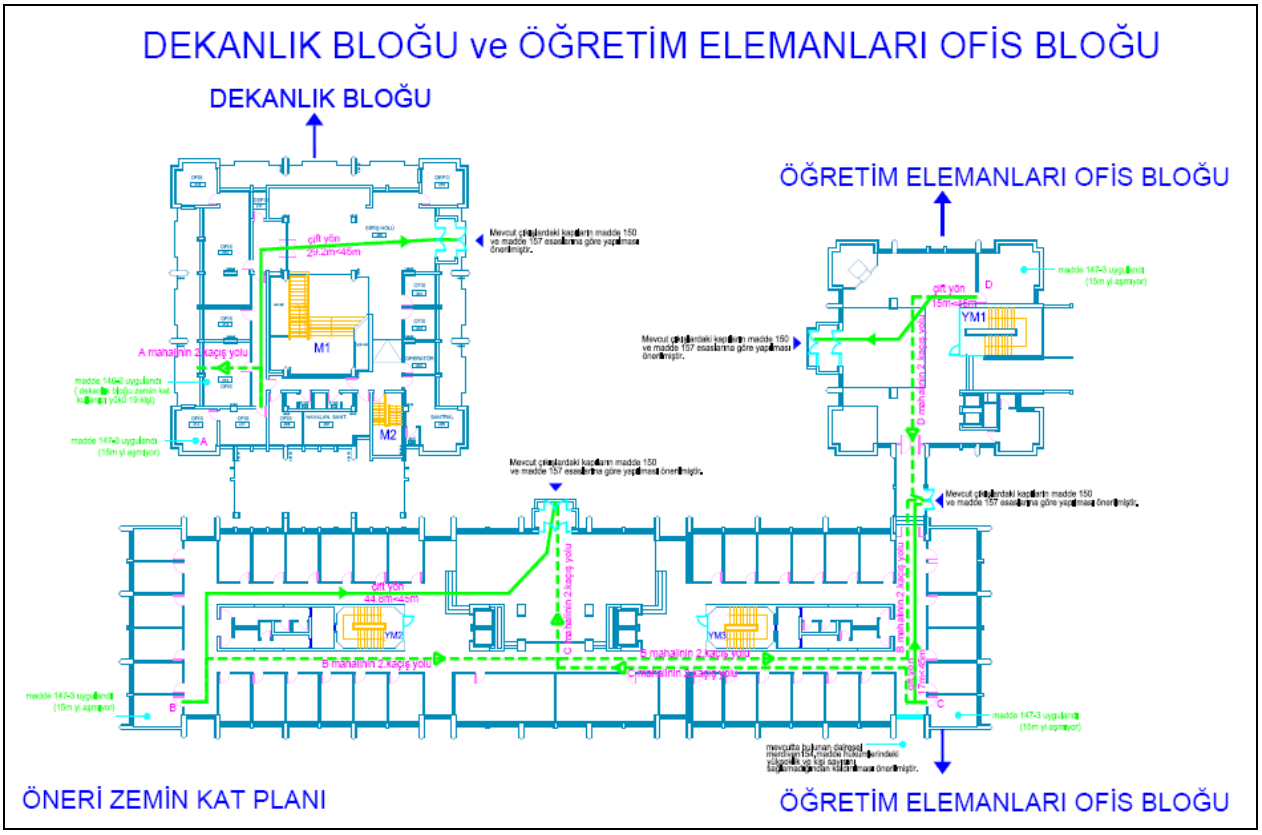
SIRA NO	BYKHY KISIM/ BÖLÜM NO	BYKHY MADDE/ FIKRA NO	İNCELENEN BİNANIN DURUMU		AÇIKLAMA
			UYGUN	UYGUN DEĞİL	
1	10/1	138/2		X	
2	10/1	141/1		X	*Binada korunumlu kaçış merdiveni olmadığı için, kaçış merdivenlerinin yeniden düzenlenmesi gerekmektedir.*
3	10/2	146/1			*31. madde hükümlerine bakınız.*
4	10/2	146/2		X	*Kattaki kullanıcı sayısı 25 kişiden fazla (175 kişi) [2, 5/A] olduğu için uygun değildir. Kullanıcı yükünü hesaplamak için gerekli olan katsayı, BYKHY [2, 5/A] yer almaktadır.*
5	3/2	31/3		X	*Binada korunumlu kaçış merdiveni olmadığından kaçış yolu mesafesi düşünülmemiştir. Bu bakımdan uygun değildir.*
6	3/2	31/4		X	*Binada korunumlu kaçış yolu düşünülmemiştir. Bu bakımdan uygun değildir.*
7	3/2	31/5		X	*Binada korunumlu kaçış yolu düşünülmemiştir.Bu bakımdan gerekli düzenlemeler yapılmamıştır. Bu bakımdan uygun değildir.*
8	3/2	31/6		X	*Binada korunumlu kaçış yolu düşünülmemiştir.Bu bakımdan gerekli hesaplamalar ve düzenlemeler yapılmamıştır. Bu bakımdan uygun değildir.*
9	3/2	31/7		X	*Binada korunumlu herhangi bir merdiven olmadığı için, dekanlık bloğunda yer alan ve bir kat inen merdiven, kaçış merdiveni olarak uygun görülmemiştir.*
10	10/2	146/3		X	*Kattaki kullanıcı sayısı 175 olduğu için, bu madde hükmü uygun değildir.*
11	10/2	147/1		X	*Kaçış yolu ve kaçış merdiveni düzenlenmediği için bu madde hükümleri uygun değildir.*
12	10/2	147/2			
13	10/2	147/3			
14	10/2	147/4			

SIRA NO	BYKHY KISIM/ BÖLÜM NO	BYKHY MADDE/ FIKRA NO	İNCELENEN BİNANIN DURUMU		AÇIKLAMA
			UYGUN	UYGUN DEĞİL	
15	10/2	147/5		X	*Kaçış yolu ve kaçış merdiveni düzenlenmediği için bu madde hükmü uygun değildir.*
16	10/2	148/1		X	**TOPLAM KAÇIŞ GENİŞLİĞİ : (KÇG)** **TOPLAM KULLANICI SAYISI: (TKS)** **(KÇG = TKS X 0.4) → KÇG= 175 X 0.4= 70 cm** *Kaçış merdiveni düzenlenmemiştir. Bu bakımdan uygun değildir.*
17	10/2	150/1	√		**Çıkış Genişliği = 175 X 0.4 = 70 cm** **Mevcutta 4 adet çıkış var.** **70/ 4 = 17.5 cm olmalı** **Yapılan hesaplamalara göre; Şekil 1' de görülen 4 adet çıkış yeterli ve kaçış mesafeleri uygundur.**
18	10/2	151/1		X	*Kaçış merdiveni düzenlenmediği için bu madde hükümleri uygun değildir.*
19	10/2	152/1		X	*Kaçış merdivenleri düzenlenmemiştir. Bu bakımdan madde hükümlerine uygun değildir.*
20	10/2	154/1		X	*Kullanıcı sayısı 175 olduğu ve yapı yüksekliği 30.50'den fazla olduğu için dairesel merdiven yapılması uygun değildir.*
21	10/2	154/2			
22	10/2	154/3			
23	10/2	154/4			
24	10/2	154/5			
25	10/2	154/6			
26	10/2	156/1		X	*Bodrum kattaki merdivenler korunumlu olarak düzenlenmediği için, uygun değildir.*
27	10/2	156/2			
28	10/2	156/3			
29	10/2	157/1		X	*Binada korunumlu kaçış merdiveni yoktur. Bu bakımdan madde hükümlerine uygun değildir.*
30	10/2	157/2			
31	10/2	157/3			
32	10/2	157/4			
33	10/2	159/1		X	*Binada korunumlu kaçış merdiveni yoktur. Bu bakımdan madde hükümlerine uygun değildir.*

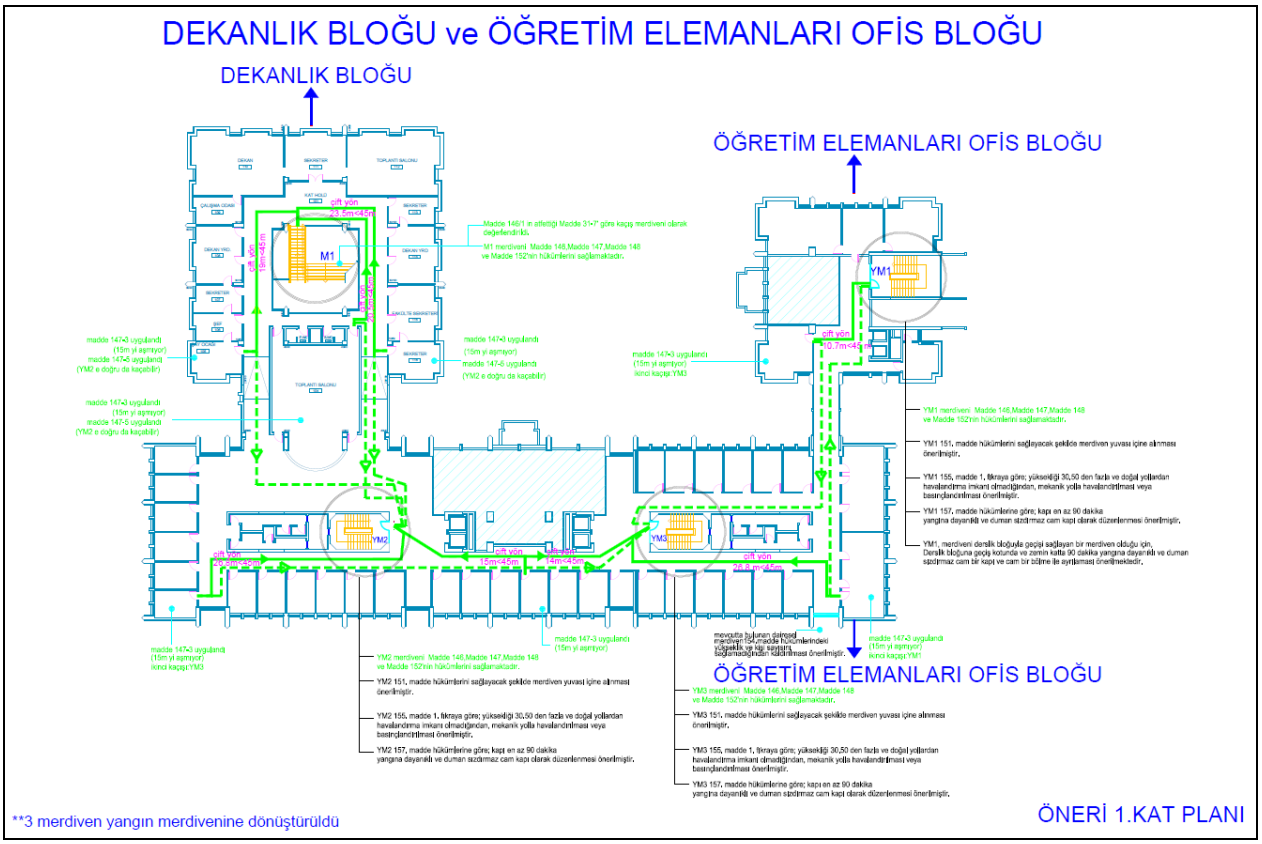
3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ankara'da bulunan bir fakülte binasının dekanlık ve öğretim elemanları ofis bloğu; yürürlükte bulunan "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik" in "Mevcut Binalar" kısmına göre incelenerek değerlendirilmiş ve "BYKHY" uygun olmadığı saptanmıştır **(Çizelge 1)**. Bu bağlamda geliştirilen öneriler ile dekanlık bloğu ve öğretim elemanları ofis bloğu "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik" e uygun hale getirilmiştir. Geliştirilen öneriler ise aşağıda verilmiştir.

Yangın güvenliği kapsamında değerlendirilen dekanlık ve öğretim elemanları ofis bloğu 1.katta mevcutta bulunan 3 adet korunumsuz merdiven, ilgili yönetmeliğin **[2]** 141.maddesi uyarınca, yangın merdivenine dönüştürülmüştür **(Şekil 3.ve Şekil 4.)**. Öneri gereğince dönüştürülen yangın merdivenleri; BYKHY **[2]** madde 146'daki kaçış yolları hükmünü ve atfettiği 31.madde hükümlerini, madde 147'deki çıkış kapasitesi ve kaçış uzaklıklarını, madde 148'deki kaçış yolu sayısı ve genişliğini ve madde 151'deki kaçış merdiveni yuvalarının yeri ve düzenlenmesi hakkındaki hükümleri sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca yeni dönüştürülen yangın merdivenleri; ilgili yönetmeliğin **[2]**, 152. maddesinde belirtilen kaçış merdiveni özelliklerini de sağlamaktadır. BYKHY **[2]**,155. madde 1. fıkrasına göre mekanik havalandırma veya basınçlandırma da önerilmiştir. Geliştirilen öneride ayrıca, ilgili yönetmeliğin 157. madde hükümlerine göre kapının en az 90 dakika yangına dayanıklı ve duman sızdırmaz ve görselliği bozmayacak şekilde cam kapı olarak düzenlenmesi öngörülmüştür **(Şekil 4)**.



Şekil 3: Kaçış yolları ve dekanlık bloğu - öğretim elemanları ofis bloğu **öneri** zemin kat planı (yeşil çizgi; BYKHY gore; mesafe açısından uygun kaçış yolunu, kırmızı renk ve çizgi ise uygun olmayan kaçış yolunu ifade etmektedir)



Şekil 4: Kaçış yolları ve dekanlık bloğu - öğretim elemanları ofis bloğu **öneri** 1. kat planı (yeşil çizgi; BYKHY gore; mesafe açısından uygun kaçış yolunu, kırmızı renk ve çizgi ise uygun olmayan kaçış yolunu ifade etmektedir)

Geliştirilen öneride; kaçış uzaklıklarının hesaplanmasında, BYKHY **[2]**, 147. maddenin 3. fıkrasında belirtilen; "*Kaçış uzaklığı, kullanım sınıfına göre Ek-14'de verilen değerlerden daha büyük olamaz. Oda, koridor ve benzeri alt bölümlere ayrılmış büyük alanlı bir katta, odanın en uzak bir noktasından odanın çıkış kapısına kadar ölçülen uzaklığın 15 m'yi aşmaması şartıyla, kaçış uzaklığı, odanın çıkış kapısından başlayarak bir kaçış merdivenine, kaçış geçidine veya dış açık alana açılan çıkış kapısına kadar olan ölçüdür."* hükmü uyarınca, kaçış mesafeleri belirlenmiştir. Ayrıca 147. maddenin 5. fıkrasında belirtilen; "*Bina yüksekliği 30.50 m'yi geçmeyen binalarda, birbirine alternatif 2 kaçış merdiveni düzenlenmiş ve bunlardan birisi korunumlu ise, iki yönlü kaçış mesafesi uygulanır."* hükmü uyarınca da dekanlık bloğunda yer alan korunumsuz merdivene yapılan kaçışlar, çift yönlü mesafe olarak alınmıştır.

Bunun yanı sıra, BYKHY **[2]** "Mevcut binalar" için özel hükümler kapsamındaki 146. maddenin 1. fıkrasında belirtilen; *"Hastane, otel, huzur evi, ilköğretim okulu, yuva ve benzeri yerler dışında kalan mevcut yapıların kaçış yolları için, 31 inci madde hükümleri esas olmak üzere, bu maddede belirtilen hususlar da kabul edilir."* hükmü uyarınca ve 31.maddenin 7.fıkrasında belirtilen *"Bir katı geçmeyen açık merdivenler ile bir kat inilerek veya çıkılarak bina dışına tahliyesi olan kata ulaşılan yürüyen merdivenler ve rampalar, bina dışına ulaşım noktasına veya korunmuş kaçış noktasına olan uzaklıklar, tek yönde ve iki yönde korunmuş kaçış yollarına olan ve Ek-5/B'de belirtilen uzaklıklara uygun olmak şartıyla, ikinci kaçış yolu olarak kabul edilir."* hükmü uyarınca; dekanlık bloğunda yer alan ve tek kat inen korunumsuz merdiven, kaçış merdiveni olarak kabul edilmiştir.

Zemin katta bulunan mevcut çıkışlardaki kapılar; BYKHY **[2]**, 150. maddedeki acil çıkış zorunluluğu hükümlerini ve madde 157'deki kaçış yolu kapıları hükümlerini sağlayacak şekilde düzenlenmiştir **(Şekil 3)**. Ayrıca zemin kat dekanlık bloğunda tahliyeler için mevcutta bir kapı bulunmaktadır. Ancak BYKHY **[2]**, 146. maddenin 2. fıkrasında belirtilen; "*...kullanıcı sayısı 25 kişiden fazla olmamak şartıyla bina dışındaki güvenlik bölgesine açık, dış zeminden en çok 4 m yükseklikte olup açılabilir kanat genişliği ve yüksekliği en az 70 cm olan pencereler zaruri hallerde kaçış yolu olarak kabul edilir"* hükmü uyarınca; dekanlık bloğu zemin kat kullanıcı yükünün 19 kişi olması ve boyutlarının uygun olması nedeni ile mevcut pencereler ikinci kaçış yolu olarak kabul edilmiş ve kaçışlar çift yönlü mesafe olarak alınmıştır.

KAYNAKLAR

1. F. Demirel, "Binalarda yangın güvenliği", Yayınlanmamış ders notları, Ankara, (2013).

2. Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, Eylül, 2009.

Sponsorlar





Medya Sponsoru



I. Ulusal Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi'nin gerçekleştirilmesinde yaptıkları değerli katkılar için teşekkürlerimizi sunarız.