



**13. ULUSAL
AYDINLATMA KONGRESİ
2021**

B İ L D İ R İ L E R

6 - 7 Ekim 2021



© 2021, İstanbul Teknik Üniversitesi
© 2021, Istanbul Technical University.

ISBN: 978-975-561-524-0

Bu kitabın her hakkı saklıdır ve tüm yayın hakları "İTÜ Rektörlüğü'ne" aittir. Bu kitabın tamamı ya da herhangi bir bölümü yayınevinin izni olmaksızın yayınlanamaz, basılamaz, mikrofilme çekilemez, dolaylı dahi olsa kullanılamaz. TEKSİR, FOTOKOPİ veya başka teknikle çoğaltılama, bilgisayarda, dizgi makinalarında işlenebilecek bir ortama aktarılamaz. Kitapta yayınlanan tüm yazı ve görsellerin sorumluluğu yazar/yazarlara aittir.

All rights of this book are reserved and all publication rights belong to "ITU Rectorate". All or any part of this book cannot be published, printed, filmed or used indirectly without the permission of the publisher. It cannot be reproduced by DUPLICATION, PHOTOCOPY or any other technique, and cannot be transferred to an environment that can be processed on computers or typesetting machines. The responsibility of all texts and visuals published in the book belongs to the author(s).

Ulusal Aydınlatma Kongresi (13.: 2021: İstanbul, Türkiye)

13. Ulusal Aydınlatma Kongresi Bildiriler Kitabı, Aydınlatma Türk Milli Komitesi, İstanbul, 2021.

Editörler/Editors: Esra Küçükkılıç Özcan, M. Berker Yurtseven,

İstanbul Teknik Üniversitesi yayınları. Yayın no. 2021.2KNF/6

BİLİMSEL KURUL

Prof. Dr. Mehmet Şener KÜÇÜKDOĞU (İTÜ Mimarlık Fakültesi Emekli Öğretim Üyesi)
Prof. Müjgan ŞEREFHANOĞLU SÖZEN (YTÜ Mimarlık Fakültesi)
Prof. Dr. Rengin ÜNVER (YTÜ Mimarlık Fakültesi)
Prof. Dr. Sermin ONAYGİL (İTÜ Enerji Enstitüsü)
Prof. Dr. Leyla DOKUZER ÖZTÜRK (YTÜ Mimarlık Fakültesi)
Prof. Dr. Alpin KÖKNEL YENER (İTÜ Mimarlık Fakültesi)
Prof. Dr. Önder GÜLER (İTÜ Enerji Enstitüsü)
Prof. Dr. Banu MANAV (KHAS Sanat ve Tasarım Fakültesi)
Doç. Dr. Serkan ÜNCÜ (ISUBÜ Teknoloji Fakültesi)
Dr. Öğr. Üyesi Kamuran TÜRKOĞLU (GAU Mühendislik Fakültesi)
Dr. Öğr. Üyesi M. Berker YURTSEVEN (İTÜ Enerji Enstitüsü)
Dr. Öğr. Üyesi Esra KÜÇÜKKILIÇ ÖZCAN (YTÜ Mimarlık Fakültesi)

DÜZENLEME KURULU

Prof. Dr. Sermin ONAYGİL (İTÜ Enerji Enstitüsü)
Prof. Dr. Rengin ÜNVER (YTÜ Mimarlık Fakültesi)
Prof. Dr. Banu MANAV (KHAS Sanat ve Tasarım Fakültesi)
Dr. Öğr. Üyesi M. Berker Yurtseven (İTÜ Enerji Enstitüsü)
Yük. Mim. Nergiz ARİFOĞLU
Elk. Müh. Zeynep AKKAYA
Elk. Müh. Hakan ÜNSALAN

KONGRE SEKRETERYASI

Dr. Öğr. Üyesi M. Berker YURTSEVEN
Dr. Öğr. Üyesi Esra KÜÇÜKKILIÇ ÖZCAN
Nimet KAMİL

Aydınlatma Türk Milli Komitesi/ <http://www.atmk.org.tr>
İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Ayazağa Yerleşkesi, 34469, Maslak, İstanbul
Tel: (0212) 285 60 50 / Faks: (0212) 285 60 51
E-posta: atmk@atmk.org.tr

Her hakkı saklıdır.

İÇİNDEKİLER

SUNUŞ Sermin ONAYGİL	v
Konut Aydınlatmasına İlişkin Uluslararası Bir Araştırma Rengin ASLANOĞLU, Begüm ULUSOY, Piotr PRACKI, Jan K. KAZAK, Sepideh YEKANİALİBEİGLOU	1
Dinamik Pencere Camlarının Güneşli Performansının Aydınlatma için Tüketilen Enerjiye Etkisi Nurbanu DÜZGÜN, Şensin AYDIN YAĞMUR	7
Armatür Tiplerinin Kullanıcı Konforu ve Enerji Tüketimi Bakımından İncelenmesi: Bir Konut Binası Örneği Sedef UÇARYILMAZ, Aybüke TAŞER, Tuğçe KAZANASMAZ	16
Güneşli ile Aydınlatmada Fiber Optik Sistemlerin Kullanılması Fazıla DUYAN, Zeynep KESKİN	24
Tarihi Yapıların Onarımında Kullanılacak Harç Renklerinin Zaman İçindeki Değişimlerinin İncelenmesi Dilek EKŞİ AKBULUT, Esra KÜÇÜKKILIÇ, Rengin ÜNVER	33
Kültür Varlıklarının Korunması ve Sunumu Bağlamında Aydınlatılması Gizem Nur GÜNGÖR, Tuba AKAR	40
Gün Işığına Duyarlı Fotokromik Camlı Numaralı Gözlükler ile Araç Sürücüsü Olarak Tünele Girmek Kazım HİLMİ OR	50
Atık Lamba Geri Kazanım Prosesinin Geliştirilmesi ve İşleme Tesisi Teknik Kriterlerinin Belirlenmesi Ş. Samet KAPLAN, M. Şeref SÖNMEZ, Zeynep AKKAYA, Elif KARA, Mustafa ÇETİN	54
Dar Bantlı Spektruma Sahip Görünür ve UV-C Bölgede Işıma Yapan Işık Kaynakları ile Yüzey Dezenfeksiyonu Üzerine Çalışmalar F. Belgin PILİÇER, Orhan BERBER, Berat Z. HAZNEDAROĞLU, İrem KARAMOLLAOĞLU, Gizem ÇETİN	63
Dijital Aydınlık Mustafa AKKAYA	69
Hibrit Stratejili Adaptif Yol Aydınlatması İsa ASLAN, Sermin ONAYGİL, Önder GÜLER, M. Berker YURTSEVEN	75
Parametrik Tasarım ve Görsel Konfor: Bir Karar Verme Mekanizması Önerisi İlker KARADAĞ	86
İnsan Odaklı Aydınlatma: Sirkadiyen Aydınlatma Tasarımı ve İç Mekan İlişkisinin İrdelenmesi Ayşe Nihan AVCI, Saadet AKBAY	98
Kullanıcı ve Kültür Merkezli Aydınlatma Tasarımı: Muskat Villa Aydınlatma Tasarımı Projesi Üzerinden Bir Değerlendirme Levent FURGAÇ, Banu MANAV, Zeynep KABAN	105
Uzaktan Çalışma Çağında Ev-Ofis için İnsan Merkezli Aydınlatma Değerlendirmeleri Uçman TAN, Dilay KESTEN ERHART, Ayşegül TEREÇİ	113

İnsan Odaklı Aydınlatmada Yeni Tasarım Kriterleri Sevda ALİPARAST, Sermin ONAYGİL	121
Vardiyalı Çalışanlarda Işığın Uyanıklık ve Sirkadiyan Uyum Üzerinde Etkisinin Bir Alan Çalışması ile İncelenmesi Levent ŞAHİN	130
Ofislerde Yapay Aydınlatma Tasarım Parametrelerinin Görsel Konfor ve Enerji Performansı Açısından Değerlendirilmesi Elif ÖZTÜRK GÜL, Mustafa KAVRAZ	135
CIE S025 Standartının “19NRM02-RevStdLED” Avrupa Projesi Kapsamında Güncellenmesi ve TUBITAK UME’nin Rolü Zühal ALPASLAN KÖSEMEN, Şenel YARAN, Çağrı Kaan AKKAN, Armin SPERLİNG, Anders THORSET, Klaus TRAMPERT, Jimmy DUBARD, Janne ASKOLA, Joaquin CAMPOS, Olivier PELLEGRİNO, Mykola HURİEV, Teresa MOLİNA-JİMENEZ, Steffen GÖRLİCH, Pieterdu TOİT, Udo KRÜGER	143
Çevreden Alınan Işığın Özgün Etkisi: Plazmonik Renkler Kazım Hilmi OR	147
Binalarda Güneşli Etkinliğine Bağlı Aydınlatma Enerji Gereksiniminin Belirlenmesi: TS EN 15193-1:2017 ve İklima Dayalı Güneşli Modeli Zehra Aybike KILIÇ, Elif RANAER HARPUTOĞLU, Alpin KÖKNEL YENER	151

SUNUŞ

Aydınlatma Türk Milli Komitesi (ATMK) kuruluş amaçları doğrultusunda 1995 yılından beri her iki yılda bir Ulusal Aydınlatma Kongresi’ni düzenlemekte ve aydınlatma sektöründe araştırma, tasarım, uygulama ve üretim gibi değişik alanlarda çalışan kişileri bir araya getirip, yeni gelişmeleri tartışarak karşılıklı bilgi ve deneyim aktarımını sağlayacak ortamlar yaratmaktadır. ATMK bugüne kadar 3 Uluslararası, 12 Ulusal Aydınlatma Kongresi ve Konferansı düzenlemiş, çok sayıda bilimsel toplantı ve eğitim çalışmalarına destek vermiştir. Aydınlatma ile ilgili alanlarda ülke kalkınmasına, bilim ve teknolojinin gelişmesine yönelik akademik ve teknolojik çalışmalar yapılması için önderlik etmeye özen gösteren ATMK, gelişen teknolojiyle hızla büyüyen sektörün çalışanlarını ve sektörle ilgilenenleri bilgilendirmek, sektörün bilgi alt yapısını kuvvetlendirmek amacıyla eğitim seminerleri ve çalıştaylar da düzenlemektedir. ATMK bugün itibari ile 2 onur, 2 fahri, 87 kişisel ve 78 kurumsal olmak üzere toplam 169 üyeye sahiptir.

25. yılını kutladığımız komitemiz kurulduğu tarihten beri Türkiye’yi Uluslararası Aydınlatma Komisyonu’nda temsil etmektedir. 1900 yılında 10 üye ülkenin katılımı ile “The Photometric Commission” adı altında kurulan birlik, 1913 yılında “Uluslararası Aydınlatma Komisyonu” adını almış ve ülkeler “Ulusal Komiteler” ile temsil edilmeye başlanmıştır. ATMK, 38 ulusal komitenin üye olduğu Uluslararası Aydınlatma Komisyonu’nda üye olarak yer almakta ve var olan olanaklarını kullanarak her yıl gerçekleştirilen uluslararası toplantılarda ülkemizin temsil edilmesine gayret göstermektedir. Temsilcilerimiz bu uluslararası platformlarda Teknik Komite çalışmalarında aktif görevler üstlenmekte ve yayınlanan “Uluslararası Rapor ve Öneriler”de hazırlama grupları içinde yer almaktadır. Bu çalışmalarda elde edilen bilgi ve birikimlerin ulusal bazda ilgili kurum ve kuruluşlara aktarılması ve gerekli düzenleyici yayınların oluşturulması için katkı sağlanması, komitemizin en önem verdiği çalışmalar arasındadır.

Disiplinlerarası bir çalışma konusu olan aydınlatma somut bir bilim dalıdır. Nitelikli ve verimli aydınlatma çözümlerine ulaşabilmemiz için akademi ve özel sektörde bu alanda farklı uzmanlıklarla çalışan kişiler olarak hepimizin ortak hedefi “aydınlatma tekniğine uygun” çalışmalar gerçekleştirmek olmalıdır. 2000’li yıllardan sonra LED ışık kaynaklarının yaygın kullanımı ile önemli bir değişim geçiren aydınlatmada, günümüzde de hem tüm sektörlerdeki dijitalleşmenin gereği hem de LED ışık kaynaklarının otomasyona uygunlukları nedeniyle bir dönüşüm yaşanmaktadır. Aydınlatmanın sağlık, konfor, çevre ve enerji verimliliği üzerine etkileri irdelenip, nesnelerin interneti, büyük veri ve yapay zeka gibi ileri teknolojilerin yardımı ile kullanıcı odaklı optimum çözümlere ulaşmaya çalışılmaktadır. İçinde bulunduğumuz pandemi döneminde farklılaşan yaşam ve çalışma koşulları kontrol edilebilir adaptif aydınlatmanın önemini bir kat daha arttırmıştır.

Tüm bu gereklilik ve kısıtlamaların ışığında, teknolojinin bize sağladığı olanakları en iyi şekilde değerlendirerek bu yıl ilk kez çevrimiçi olarak gerçekleştirilecek kongremizin ana temasını “**Aydınlatmada Dönüşüm**” olarak belirledik. Davetli konuşmacılarımız, sunumlu bildirilerimiz ve sektör paydaşlarımızın bir arada olmalarını güçlendirecek aktiviteler ile hazırladığımız 13. Ulusal Aydınlatma Kongremizde bu dönüşüm sürecinde nitelikli aydınlatmanın temel gerekliliklerinden ödün vermeden yeni teknolojilerin desteği ile kullanıcı verimini artırıcı, enerji tasarruflu, mevzuat ile uyumlu ve ticari beklentilere cevap veren çözümlere ulaşabilmeyi hedefliyoruz.

Aydınlatma Türk Milli Komitesi Yönetim Kurulu adına, değerli çalışmaları ile kongremize katkı sağlayan konuşmacı ve yazarlarımıza, her zaman olduğu gibi bu yıl da bizleri destekleyen sponsorlarımıza, katılımcılarımıza, kongremizi özverili çalışmaları ile düzenleyip gerçekleştiren Kongre Sekreteryası’na teşekkür ediyor; saygılarımı sunuyorum.

Prof. Dr. Sermin ONAYGİL

Aydınlatma Türk Milli Komitesi ve Yönetim Kurulu Başkanı

KONUT AYDINLATMASINA İLİŞKİN ULUSLARARASI BİR ARAŞTIRMA

Rengin Aslanoğlu¹, Begüm Ulusoy², Piotr Pracki³, Jan K. Kazak¹, Sepideh Yekani-libeiglou⁴

¹ Institute of Spatial Management, Wrocław University of Environmental and Life Sciences,
rengin.kocaoglu@bilkent.edu.tr

² Interior Architecture and Design, School of Design, University of Lincoln, BUlusoy@lincoln.ac.uk

³ Institute of Electrical Power Engineering, Division of Lighting Technology,
Warsaw University of Technology, piotr.pracki@ien.pw.edu.pl

¹ Institute of Spatial Management, Wrocław University of Environmental and Life Sciences,
jan.kazak@upwr.edu.pl

⁴ İ.D. Bilkent Üniversitesi İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, sepideh@bilkent.edu.tr

Konut sakinlerinin, konut ortamlarında vakitlerinin çoğunu geçirdikleri yaşam alanlarındaki mevcut aydınlatma koşullarına ilişkin bilgilerin ve katılımcıların konu ile ilgili öznel değerlendirmelerinin toplanması, konutlardaki aydınlatma koşullarının iyileştirilmesi için önemli bir adımdır. Bu nedenle, mevcut çalışma Türkiye’de bulunan konutlardaki aydınlatma koşulları hakkında kapsamlı veriler toplamayı hedeflemiştir. Bu amaç doğrultusunda toplam 125 katılımcının olduğu bir anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Yapılan korelasyon analizleri sonucunda dış ortamlarla olan görsel bağlantı ile günışığı homojenliği, günışığı memnuniyeti ve günışığı yeterliliği arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Katılımcılar yaşam alanlarındaki homojen olarak dağılan günışığının, günışığı yeterliliği algısını ve mevsimden bağımsız olarak memnuniyetlerini arttırdığını belirtmişlerdir. Yapay aydınlatma yeterliliği ve memnuniyet arasında bir ilişki tespit edilmiştir. Ayrıca, yapay aydınlatmanın renksel geri verim indeksindeki artışın, yapay aydınlatma memnuniyet seviyesini arttırdığı bulunmuştur. Kısaca, çalışmamızın sonuçları sayesinde dijital aydınlatma ürün ve sistem tasarımları için kullanıcı eğilimlerini belirleyen geniş bir veri bankası oluşturulmuştur.

Anahtar kelimeler: Konut Aydınlatması, Uluslararası Anket, Kış Dönemi, Türkiye

An International Survey on Residential Lighting: Winter-Term Analysis from Turkey

Collecting information about the current residential lighting conditions where residents spend most of their time with the subjective evaluations is an important step in improving residential lighting. Therefore, the present study aimed to collect comprehensive data on lighting conditions in residences in Turkey. For this purpose, a survey was conducted with 125 participants. As correlation analysis showed, statistically significant relationships were found between view-out, daylight uniformity, daylight satisfaction and daylight sufficiency. Participants stated that uniformly distributed daylight in their living spaces increased the perception of daylight sufficiency and their satisfaction regardless of the season. A relationship between artificial lighting sufficiency and satisfaction was detected. It was found that as the CRI increased, the level of satisfaction with artificial lighting increased too. In brief, with our results a large database of user trends was created for digital lighting product and system designs.

Keywords: Residential Lighting, International Survey, Winter-Term, Turkey

1. GİRİŞ

Özel ya da halka açık tüm iç mekânlar, temelde insanoğlunun barınma ihtiyacını karşılamaya yönelik tasarlanmış fiziksel ortamlardır. Bunun yanı sıra kişilerin refahı, psikolojileri, öğrenme ve algılama süreçleri, duygu ve davranışları ve fiziksel sağlıkları üzerinde de önemli bir etkiye sahip oldukları yaygın olarak kabul edilmektedir. İç mekânların kişiler üzerindeki etkileri, COVID-19 salgınının başlamasıyla daha da önemli bir hale gelmiştir. COVID-19 salgını ile birlikte çoğu iç mekân birden fazla işlevi barındırmaya başlamıştır. Örneğin konutlarımız sadece barınma ihtiyacımıza yönelik mekânlar olmaktan çıkmış; ofislerimizin, okullarımızın ve sosyal ihtiyaçlarımızın karşılandığı farklı iç mekânların yerini almıştır. Konutlarımızın yeni çok amaçlı doğası, konut ortamlarında kullanılan doğal ve yapay aydınlatmayı araştırmak ve geliştirmek gibi önemli ihtiyaçları da beraberinde getirmiştir.

Konut sakinlerinin, konut ortamlarında vakitlerinin çoğunu geçirdikleri yaşam alanlarındaki mevcut aydınlatma koşullarına ilişkin bilgilerin ve katılımcıların konu ile ilgili öznel değerlendirmelerinin toplanması, konutlardaki aydınlatma koşullarının iyileştirilmesi için önemli bir adımdır. Bu nedenle, mevcut çalışma konutlardaki aydınlatma koşulları hakkında kapsamlı ve uluslararası veriler toplamayı hedeflemiş ve ihtiyaçları belirlemeyi amaçlamıştır. Bu amaçlar doğrultusunda coğrafi, mevsimsel ve öznel farklılıkları araştırmak için farklı bölgeler seçilmiştir: Kuzey Avrupa'dan İsveç (Enlem: 60.1° K), Orta Avrupa'dan Polonya (Enlem: 51.9° K), Kuzeybatı Avrupa'dan İngiltere (Enlem: 55.3° K) ve Batı Asya'dan Türkiye (Enlem: 38.9 ° K).

Bu çalışma uluslararası bir araştırmanın Türkiye özelindeki sonuçlarına odaklanmıştır. 13 farklı şehirden, 73'ü kadın, 50'si erkek ve cinsiyetini belirtmek istemeyen 2 kişi ile toplam 125 katılımcının olduğu bir anket çalışması, Kasım 2020 ile Ocak 2021 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Yüzde 95,2'si üniversite derecesi ya da daha yüksek eğitim seviyesine sahip olan katılımcılar, konutlarındaki yaşam alanları ve bu alanlardaki aydınlatma koşulları ile ilgili detaylı bilgilendirmelerde bulunmuşlardır. Bu çalışma, aydınlatma koşullarının yaz dönemine göre daha zorlu olduğu kış dönemi değerlendirmelerine ağırlık vererek sonuçlarını sunacaktır.

2. YÖNTEM

Konut sakinlerinin, konut ortamlarında vakitlerinin çoğunu geçirdikleri yaşam alanlarındaki aydınlatma koşullarına ilişkin öznel değerlendirmeleri, çalışmanın araştırmacıları tarafından hazırlanan bir çevrimiçi anket yoluyla toplanmıştır. Anket; İngiltere, İsveç, Polonya ve Türkiye'de ikamet eden gönüllülere çalışmanın internet sitesi (<https://survey.lighting/>) aracılığıyla ulaştırılmıştır. Anket, her katılımcı ülkenin ana dillerinde dağıtılmış ve toplamda 500 katılımcıya ulaşılmıştır.

Çalışmanın anketi katılımcılara; demografik bilgileri, konutlarının coğrafi ve yaşam alanlarının fiziksel özellikleri hakkında sorular sormuş, yaşam alanlarındaki doğal ve yapay aydınlatma koşulları hakkında ve mevsimlere göre karşılaştırmaları ile ilgili bilgiler toplamıştır. Ayrıca katılımcılara sürdürülebilirlik, akıllı aydınlatma teknolojileri, ulusal aydınlatma politikaları ve yaşam alanlarında uygulamayı düşündükleri aydınlatma ile ilgili bireysel çözümleri sorulmuştur.

3. SONUÇ

Türkiye’de yaşayan 125 katılımcının anket sonuçlarına göre yapılan detaylı incelemeler sonucunda, yaşam alanlarındaki doğal ve yapay aydınlatma koşulları ile yaşadıkları yerler hakkında bilgiye sahip olunmuştur. Katılımcıların yüzde 91,2’si apartman dairesinde yaşamaktadır. Kişilerin yaşadıkları binalar çoğunlukla 1990 ile 2010 yılları (yüzde 79,2) ve 1960 ile 1980 yılları (yüzde 14,4) arasında inşa edilmiştir. Evlerin genellikle 4 odası (yüzde 44,4) bulunmakta ve ortalama 153 metrekare alana sahiptir. Katılımcıların günlerinin çoğunu geçirmeyi tercih ettikleri yaşam alanları ise ortalama 31 metrekaredir. Yaşam alanlarının yüzde 51,2’si 3 metreden az tavan yüksekliğine sahiptir (yüzde 31,2’si 3 ile 4 metre arasında, yüzde 6,4’ü 4 ile 5 metre arasında ve yüzde 4,8’i 5 metreden fazla yüksekliğe sahiptir. Katılımcıların yüzde 6,4’ü ise yaşam alanlarının tavan yüksekliği hakkında bir bilgi verememişlerdir). Yaşam alanlarındaki tavanlar (yüzde 96,8) ve duvarlar (yüzde 64,8) çoğunlukla beyaz renktedir. Katılımcıların yüzde 52,8’i bu yaşam alanında 3 ile 8 saat, yüzde 35,2’si 8 saatten fazla, yüzde 12’si ise 3 saatten az bulunmaktadır. Bu alanda en çok yapılan aktivite türü ise bilgisayar ile çalışmaktır (Tablo 1).

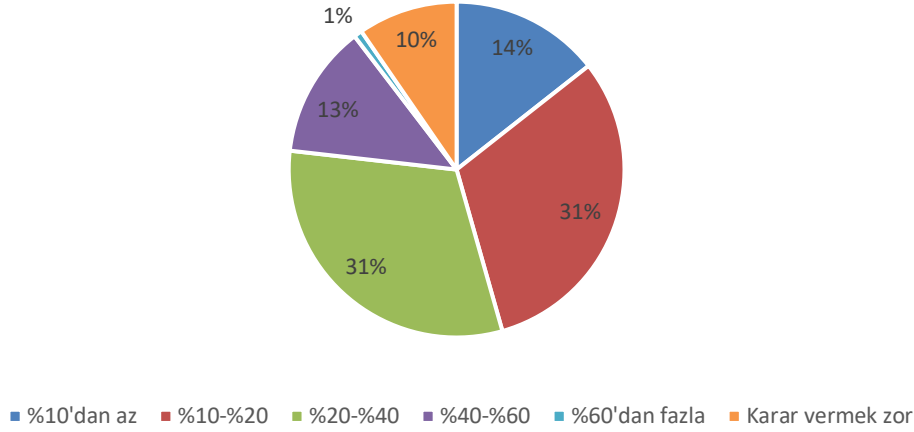
Tablo 1. Yaşam alanında en çok yapılan aktivite türleri ve yüzdeleri

Yaşam alanında en çok yapılan aktivite türü	Yüzde
Bilgisayar ile çalışmak	48,0
Bilgisayar olmadan yazmak ve okumak	3,2
Genellikle dinlenmek ve televizyon izlemek	37,6
Televizyon olmadan genellikle dinlenmek	8,8
Diğer	2,4

COVID-19 salgını ile birlikte kişiler evlerinde daha fazla zaman geçirmeye başlamışlardır. Tablo 1’de de görülebildiği üzere zamanlarının çoğunu ekran karşısında (bilgisayar veya televizyon) geçiren katılımcıların görsel konforlarının sağlanması doğal ve yapay aydınlatmanın özellikleri ile doğrudan bağlantılıdır. Ofislerde sıklıkla yapılan çalışmalardan elde edilen bilgilere göre aydınlatmanın aydınlık düzeyinin, parlaklık oranının ve renk sıcaklığının görsel performans ve konfor üzerindeki olduğu bulunmuştur [1]. Daha çok ofis ortamlarındaki görsel performanslara ilişkin sonuçlara ulaşılabilmektedir, ancak konut alanlarında yapılan görsel işler ve bunların konut aydınlatması ile ilişkisi konusunda yeterli çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle, konutlardaki doğal ve yapay aydınlatmanın güncel durumunun kullanıcılar açısından değerlendirmelerinin toplanması, bu alanda gelecekte yapılacak çalışmalara ve aydınlatmada dönüşümün hızlanmasına rehberlik edebileceği için önemlidir.

Hem doğal hem de yapay aydınlatma daha sürdürülebilir, sağlıklı ve konforlu iç mekânlar sunabilmek için tüm açılardan bütünsel olarak incelenmelidir. Ancak, doğal aydınlatma insan sağlığının psikolojik ve fiziksel olarak iyileştirilmesinde, enerji tasarrufunun sağlanmasında ve çevrenin korunmasında önemli bir yere sahiptir [2]. İç mekânlara doğal ışık, açıklıklar (pencereler) sayesinde ulaşabilmektedir. Dış ortamlar ile olan görsel bağlantının sağlanması ve pencerelerden güneş ve gün ışığına maruz kalmanın, stresi azalttığı, memnuniyeti arttırdığı ve genel sağlık durumunu iyileştirdiği saptanmıştır [3-5]. Bizim çalışmamızın katılımcılarının yaşam alanlarındaki pencere alanlarının tüm yaşam alanına olan oranı ise Şekil 1’de görülebilmektedir. Katılımcıların yüzde 69,6’sı yaşam alanlarındaki günışığının yeterli ve

yüzde 57,6'sının da günışığının homojen olduğunu belirtmişlerdir. Yaz mevsiminde yaşam alanlarındaki gün ışığından çok memnun olan katılımcıların yüzdesi 41,6 iken, bu oran kış mevsiminde yüzde 32'ye düşmüştür. Aynı şekilde kış mevsimindeki memnuniyetsizlik yüzde 10,4'e yükselmiştir (yaz mevsiminde yüzde 7,2'dir).



Şekil 1. Yaşam alanındaki pencere alanlarının tüm yaşam alanına olan oranı

Yapılan korelasyon analizleri sonucunda *dış ortamlarla olan görsel bağlantı* ile günışığı homojenliği ($r = 0.383$, $p = 0.000$), yaz ($r = 0.327$, $p = 0.000$) ve kış ($r = 0.478$, $p = 0.000$) mevsimlerindeki günışığı memnuniyeti ve günışığı yeterliliği ($r = 0.362$, $p = 0.000$) arasında istatistiksel olarak anlamlı ancak zayıf ilişkiler bulunmuştur. Katılımcılara göre dış ortamlarla olan görsel bağlantı arttıkça, yaşam alanlarındaki günışığı homojenliği, yaz ve kış günışığı memnuniyeti ve günışığı yeterliliği de artmaktadır.

Yaşam alanlarındaki *günışığı yeterliliği* ile günışığı homojenliği arasında orta düzeyde bir ilişki bulunmaktadır ($r = 0.536$, $p = 0.000$). Katılımcılar yaşam alanlarındaki homojen olarak dağılan günışığının, günışığı yeterliliği algısını arttırdığını belirtmişlerdir. Yaz ($r = 0.380$, $p = 0.000$) ve kış ($r = 0.572$, $p = 0.000$) mevsimlerinde günışığı memnuniyeti, günışığı yeterliliği arttıkça artmaktadır. Ayrıca, *günışığı homojenliği* ile günışığı memnuniyeti arasında orta düzeyde bir ilişki bulunmaktadır (yaz mevsiminde; $r = 0.436$, $p = 0.000$ ve kış mevsiminde; $r = 0.449$, $p = 0.000$). Mevsimden bağımsız olarak yaşam alanındaki homojenlik arttıkça, günışığı memnuniyeti de artmaktadır.

Katılımcıların yaklaşık yüzde 45'i yaz veya kış dönemi fark etmeksizin yaşam alanlarında bulunan yapay aydınlatmayı dört ila altı saat arasında açık tuttıklarını belirtmişlerdir. Günışığından daha da yararlanılabilme imkânı bulunan yaz döneminde de kış döneminde olduğu kadar yapay aydınlatma kullanımı olduğu tespit edilmiştir. Katılımcıların yüzde 11,2'si yaşam alanlarında akkor lambaları, yüzde 21,6'sı ise floresan lambaları kullandıklarını bildirmişlerdir. Geniş kullanım alanına ve uzun kullanım ömrüne sahip, ayrıca enerji tasarrufu sağlayan LED lambalar ise katılımcıların yüzde 37,6'sı tarafından tercih edilmektedir. Katılımcıların çoğunluğu, yaşam alanlarında genel tavan aydınlatması ve tavan lokal aydınlatması (çalışma amaçlı) kullanmayı tercih etmişlerdir. Katılımcıların, vat ve ışık miktarı, ışığın rengi, ışığın renk oluşturma kalitesi, ışığın enerji verimliliği, fiyat, estetik, işlev ve/veya marka seçenekleri arasından öne çıkan bir yapay aydınlatma tercihi bulunamamıştır. Bunun yanı sıra katılımcıların yüzde 36,8'i yaşam alanlarındaki aydınlatma tercihlerini belirlerken herhangi bir profesyonelden yardım almadan içgüdüsel olarak yaptıklarını belirtmişlerdir. İç mimarlar ve/veya aydınlatma tasarımcılarından yardım alarak aydınlatma tercihlerinde bulunan katılımcıların oranı ise yüzde 7,2'dir. Katılımcıların, yüzde 84,8'i yaşam alanlarındaki

aydınlatma seçimleri sırasında sürdürülebilir çözümleri uygulamayı düşündüklerini belirtirken, yaşam alanlarından sadece yüzde 16'sında akıllı aydınlatma sisteminin bulunduğu tespit edilmiştir. Katılımcıların yüzde 80'i ulusal aydınlatma politikaları hakkında bir bilgiye sahip olmadıklarını dile getirmişlerdir. *Ulusal aydınlatma politikaları hakkında bir bilgiye sahip olan katılımcılar* ile akıllı aydınlatma sistemi kullananlar arasında zayıf da olsa bir ilişki bulunmuştur ($r=0.273$, $p=0.002$).

Konutlarda en az doğal ışık kadar önemli olan diğer bir olgu da kullanılan yapay aydınlatmanın niteliğidir. *Yapay aydınlatma yeterliliği*, homojenlik ($r=0.379$, $p=0.000$), renksel geri verim indeksi (CRI) ($r=0.433$, $p=0.000$) ve memnuniyetle ($r=0.416$, $p=0.000$) ile zayıf bir ilişki içindedir. Benzer zayıf ilişkiler *yapay aydınlatma homojenliği* ile parlaklık ($r=0.277$, $p=0.002$), renksel geri verim indeksi ($r=0.365$, $p=0.000$) ve memnuniyet seviyesi ($r=0.348$, $p=0.000$) arasında tespit edilmiştir. Ayrıca *renksel geri verim indeksi* ($r=0.301$, $p=0.001$) ve yapay aydınlatma memnuniyet seviyesi arasında bir ilişki bulunmuştur. Katılımcıların yaşam alanlarında kullandıkları yapay aydınlatmanın renksel geri verim indeksindeki artış, yapay aydınlatma memnuniyet seviyesini de arttırmaktadır.

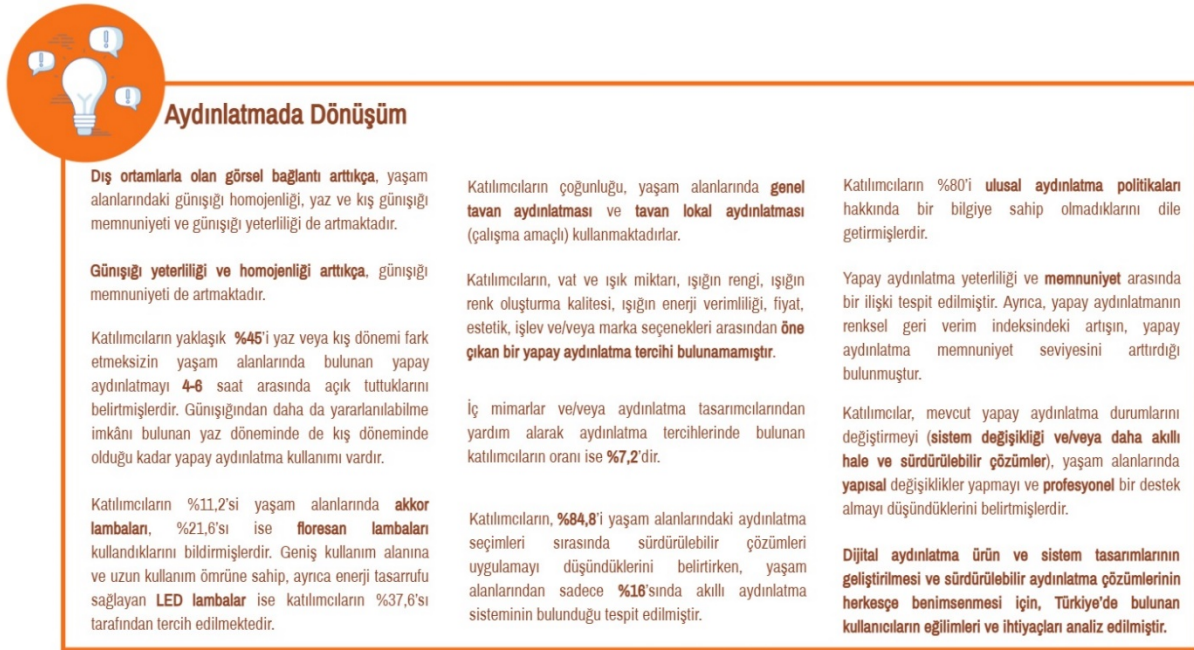
Ankette, açık uçlu sorular ile katılımcılara yaşam alanlarında uygulamayı düşündükleri aydınlatma ile ilgili bireysel çözümleri de sorulmuştur. Alınan cevaplar detaylıca incelenmiş ve üç ana başlık altında gruplandırılmıştır. Sıkça verilen cevaplardan baz örnekler Şekil 2'de gösterilmiştir.

Aydınlatmada değişiklik	Yapısal değişiklik
"Işık rengi ve şiddeti ayarlanabilir bir sistem kurardım."	"Pencere yerden 90 cm yükseklikte, eğer baştan müdahale etme şansım olsaydı gün ışığını daha iyi alabilmek adına pencere alanını artırır ve yerden 10 cm yükseklikten başlatırdım."
"Genel aydınlatma yerine bölgesel aydınlatma tercih ederdim."	"Tavan yüksekliğini azaltırdım."
"Yapay aydınlatmanın homojen olmasını isterdim."	
"Işığın indirekt olarak gelmesini isterdim."	
"Çalışma yüzeyi yeterince aydınlanmadığı ve gölgem masaya düştüğü için genel aydınlatma yerine çalışma masası duvarına indirekt bir aydınlatma yerleştirdim."	
	Profesyonel destek "İç mimari destek alarak daha dekoratif ve detayları düşünülmüş komple bir aydınlatma çözümü isterdim."

Şekil 2. Katılımcıların yaşam alanlarında uygulamayı düşündükleri aydınlatma ile ilgili bireysel çözümlerden örnekler

Özetle bu çalışma, konutlardaki aydınlatma koşulları hakkında geniş kapsamlı uluslararası bir araştırmanın Türkiye özelindeki sonuçlarına odaklanmıştır. Araştırmanın amacı konut binalarının mevcut aydınlatma koşulları hakkında bilgi toparlayarak, uluslararası ve ulusal veri setleri oluşturmaktır. Konutlarda var olan aydınlatma koşullarının belirlenmesi ile konut sakinlerinin aydınlatma kalitesi hakkında öznel değerlendirmeleri ve konut binalarında potansiyel sürdürülebilir aydınlatma çözümleri bir araya getirilerek, konut sakinlerinin yaşam kalitesini artırmaya ve elektrik talebini en aza indirmeye yönelik gelecekteki çalışmaların geliştirilmesine yardımcı olmak hedeflenmiştir. Kısacası çalışmamız, gelecekteki aydınlatma çalışmaları için bir temel oluşturmayı ve konut aydınlatmasındaki sorunlu alanları vurgulamayı amaçlamıştır. Ayrıca çalışmanın sonuçları, konut sakinlerinin yaşam kalitelerini arttırmak için disiplinler arası işbirliğinin gerekliliğinin de altını çizmektedir. Aydınlatmada dönüşüm, farklı disiplinlerden araştırmacıların yürüteceği çeşitli bilimsel çalışmalar, karar vericilerin oluşturacağı kullanıcı ve doğa dostu standartlar ve teknoloji üreticilerinin geliştireceği yeni

uygulamalarla sağlanabilecektir. Bu konuda, çalışmamızın sonuçlarının aydınlatma dönüşümünde katkıları olacağını düşünmekteyiz. Özetle, çalışmamızın sonuçları sayesinde dijital aydınlatma ürün ve sistem tasarımları için kullanıcı eğilimlerini belirleyen geniş bir veri bankası oluşturulmuştur. Böylece Türkiye özelinde ileride yapılacak çalışmaların odaklanması gereken noktalar aşağıdaki görselde özetlenmiştir (Bakınız Şekil 3).



Şekil 3. Türkiye özelinde yapılan anket çalışmasından elde edilen özet sonuçlar

KAYNAKÇA

1. Konstantzos, I., Sadeghi, S. A., Kim, M., Xiong, J., Tzempelikos, A., The effect of lighting environment on task performance in buildings—a review, Energy and Buildings; 110394, 2020.
2. Liu, X., Sun, Y., Wei, S., Meng, L., & Cao, G., Illumination Distribution and Daylight Glare Evaluation within Different Windows for Comfortable Lighting, Results in Optics; 100080, 2021.
3. Daniela, D.A., Gola, M., Letizia, A., Marco, D., Fara, G.M., Rebecchi, A., Gaetano, S. and Capolongo, S., COVID-19 and Living Spaces challenge, Well-being and Public Health recommendations for a healthy, safe, and sustainable housing; 2020.
4. Ko, W. H., Schiavon, S., Zhang, H., Graham, L. T., Brager, G., Mauss, I., & Lin, Y. W., The impact of a view from a window on thermal comfort, emotion, and cognitive performance, Building and Environment; 175, 106779, 2020.
5. Labib, S. M., Lindley, S., & Huck, J. J., Spatial dimensions of the influence of urban green-blue spaces on human health: A systematic review, Environmental research; 180, 108869, 2020.

DİNAMİK PENCERE CAMLARININ GÜNEŞİĞİ PERFORMANSI VE AYDINLATMA İÇİN TÜKETİLEN ENERJİYE ETKİSİ

Nurbanu Düzgün¹, Şensin Aydın Yağmur²

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü Doktora Öğrencisi, nurbanudzgn@gmail.com

²Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, sensina@yildiz.edu.tr

Enerji kaynaklarının azalması nedeniyle binalarda enerjinin verimli kullanımının önemi giderek artmaktadır. Bu nedenle güneşiğinden daha fazla faydalanmak ve kullanılan aydınlatma enerjisinin tüketimini azaltmak için çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların sonucu olarak ortaya çıkan dinamik camların hacim içi güneşiği performansına etkisini incelemek amacıyla YTÜ Mimarlık Fakültesi'nde iki derslik ele alınmıştır. Bu çalışmanın ilk aşamasında, derslikler EN 17037 Güneşiği Standardı ölçütleri açısından incelenmiştir. Sonraki aşamada, güneşiğinin yetersiz olduğu koşullarda gerekli aydınlık düzeyini sağlamak için yapay aydınlatmanın kullanıldığı durumlarda, söz konusu cam türleri için yıllık elektrik enerjisi tüketim verileri karşılaştırılmıştır. Cam çeşitlerinin güneşiği performansına ve aydınlatma için tüketilen enerjiye etkisini inceleyen bu çalışma ile, farklı cam tiplerinin hacim içindeki güneşiği performansını etkilediği ve bu performansa bağlı olarak yıllık aydınlatma için harcanan enerji tüketimini de değiştirdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Güneşiği, Dinamik Camlar, Enerji Etkin Tasarım

Effect of Daylight Performance of Dynamic Window Glazings on Lighting Energy Consumption

Due to the decrease of energy resources, the importance of efficient use of energy in buildings is increasing. For this reason, studies are carried out to raise the use of daylight and to reduce the consumption of electrical energy for lighting. In order to examine the effect of dynamic glazings which emerged as a result of these studies, two classrooms at YTU Faculty of Architecture were discussed. In the first stage of this study, classrooms were examined in terms of daylight criteria of EN 17037 Daylight Standard. Then, the annual electrical energy consumption data for these classrooms with glazing types in question were compared when artificial lighting is used to provide the required illumination in conditions with insufficient daylight. This study which examines the effect of glazing types on daylight performance and the energy consumed for lighting showed that different glazing types affect the daylight performance and depending on this performance, the annual energy consumption for lighting also changes.

Keywords: Daylight, Dynamic Glazings, Energy Efficient Design

1. GİRİŞ

Günümüzde enerji kaynaklarında meydana gelen azalma ve kaynakların yetersizliği nedeniyle binalarda enerji etkin kullanımının önemi giderek artmaktadır. Bu sebeple hacim içinde güneşiğinden daha çok yararlanmak ve hacimde kullanılan yapay aydınlatmalar nedeniyle oluşan enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

Doğal ve yapay aydınlatmanın sebep olacağı etkiler yapının ilk tasarım aşamasında göz önünde bulundurulmalıdır. Hacim içi güneşiği niceliği; iklim özellikleri (kapalı gök, açık gök koşulları), yapı özellikleri (yapının bulunduğu çevre, yapıdaki girinti ve çıkıntılar, hacmin iç yüzeylerinin renkleri), dış engeller, pencere özellikleri (yön, boyut, sayı, konum, camın ışık geçirme çarpanı, çerçeve özellikleri) gibi çeşitli etkenlere bağlıdır. Özellikle, güneşiğinin hacim içine alındığı,

yapı kabuğunun saydam bölümü olan pencerelerin özellikleri önemli bir etkiye sahiptir. Pencerenin yönü, büyüklüğü, sayısı, konumu, çerçeve özellikleri ve cam tipi, günışığı performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Hacim içine dolaysız gelen ışığın yarattığı istenmeyen ışıklılık farklarının ve aşırı ısınma gibi olumsuz etkilerin azaltılması amacıyla ışık geçiriciliği bakımından farklı özellikte cam tipleri geliştirilmiştir [1]. Bu gelişmeler hacim içi günışığı performansı açısından birçok seçenek sunmakla birlikte, kullanılacak camın seçimine ilişkin, çeşitli ölçütleri göz önünde bulundurarak üstünde durulması gereken bir problemi de gündeme getirmektedir [2].

Günümüzde en yaygın kullanılan pencere camları, çift camlar ve low-e kaplamalı camlardır. Geleneksel olarak adlandırılan bu camlar kısmen doğal aydınlatma gereksinimlerini karşılamakta ancak gün boyu değişen ışık koşullarında sabit özellik göstermektedirler. Geleneksel camlardan farklı olarak saydamlığı değişebilen akıllı pencere camları ise gün boyu değişen ışık koşullarında dinamik özellik gösterirler. Yapılan literatür araştırmalarında, pencere camı özelliklerindeki bu değişimin enerji etkin tasarıma katkısına yönelik verilerin oldukça sınırlı olduğu görülmüştür. Bu nedenle, gelişmiş camlar olarak adlandırılan dinamik pencere camlarının hacim içi günışığı performansı ile birlikte yapay aydınlatma için tüketilen elektrik enerjisini azaltmaya yönelik etkisinin incelendiği bir çalışma yapılması düşünülmüştür. Seçilen farklı özellikteki cam tipleri kullanılarak hesaplanan hacim içi günışığı verileri, EN 17037 Standardı'na göre incelenmiş ve enerji tüketimine yönelik karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu bağlamda, YTÜ Mimarlık Fakültesinde, farklı yönlerde bakan iki derslik ele alınarak, DesignBuilder programında modellenmiş ve incelemeler yapılmıştır.

Bu çalışmanın ilk aşamasında, seçilen dersliklerde farklı cam tipleri kullanılarak, EN 17037 Günışığı Standardı'nın günışığından yararlanma ölçütleri olan;

- gerekli günışığı aydınlığının sağlanması,
- dış ortamla görsel bağlantının kurulması,
- güneşlenme

açısından incelenmiştir. Sonraki aşamada, günışığının yetersiz olduğu koşullarda gerekli aydınlık düzeyinin sağlanması için yapay aydınlatmanın devreye girdiği koşullarda hacimlerin yıllık elektrik enerjisi tüketimi verileri karşılaştırılmıştır.

2. KAPSAM

Günışığının içeriye alınması, yapı kabuğundaki düşey ve/ya da yatay boşluklarla sağlanabilmektedir. Dış ortam ile görsel iletişim de sağlaması açısından, düşey boşlukların, yani düşey pencerelerin kullanımı daha çok tercih edilmektedir. Binalarda hacim içi günışığı performansı büyük ölçüde pencere camı özelliklerine bağlıdır. Bu yüzden, pencere camı seçimi yapılırken hacim içi günışığı aydınlık düzeyinin minimum şartlarını sağlamak, dikkate alınması gereken önemli konulardan biridir.

Günümüzde gelişimi devam eden camlardan dinamik pencere camları (Akıllı camlar), geleneksel camlardan (Çift cam, Low-E cam) farklı olarak, gün içinde ve yıl boyunca değişen çevre koşullarına uyum sağlayarak saydamlık özelliklerini değiştirebilmekte ve bu bağlamda, ışık geçirgenlikleri dinamik özellik göstermektedir. Böylece, hacim içinde oluşan ışıklılık karışıklıkları sebebiyle meydana gelen kamaşmayı engellemek gibi özelliklere sahip olabilmektedirler. Akıllı camlar olarak adlandırılan bu cam tiplerinin; termokromik, fotokromik, elektrokromik camlar gibi ısı veya ışığa duyarlı çeşitleri olmakla birlikte, fotovoltaiik cam gibi güneş enerjisinden elektrik üretebilen çeşitleri de bulunmaktadır.

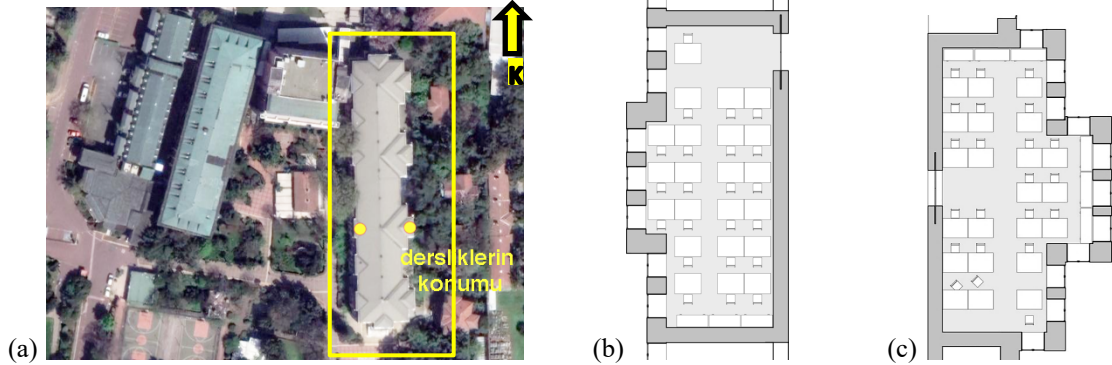
Modelleme ve hesaplamalarda kullanılacak DesignBuilder programının malzeme kütüphanesinde iki tip dinamik camın farklı çeşitleri bulunması sebebiyle, bu çalışmada elektrokromik ve termokromik camlar kullanılmıştır.

3. YÖNTEM

Günişliği performansına yönelik değerlendirmeler yapılırken, gökyüzünün durumuna yönelik sabit koşullar yerine, günümüzde, yıl boyunca gün içerisindeki dinamik iklim koşullarının veri alınması önerilmektedir [3-5]. Binalarda günişliğinin kullanımı, istenen görsel konforun sağlanmasında olduğu kadar, enerji kullanımının azaltılması açısından da önemlidir. TS EN 17037: 2019 Binalarda Günişliği Standardı'nda önerilen günişliğinden yararlanma ölçütleri aşağıda sıralandığı gibidir [6, 7]:

- Yeterli Günişliğinin Sağlanması
- Dış Görüş
- Güneşlenme
- Kamaşmadan korunma.

Bu çalışmada, YTÜ Beşiktaş kampüsü Mimarlık Fakültesi içinde yer alan, doğu ve batı yönlerine bakan iki derslikte farklı cam tipleri kullanılarak, öncelikle doğal aydınlatma koşulları EN 17037 Standardı'na göre değerlendirilmiş ve sonra yıllık yapay aydınlatma yükleri karşılaştırılmıştır. Ele alınan derslikler, yeterli günişliği aydınlığının sağlanması, dış ortamla görsel bağlantının kurulması (dış görüş) ve güneşlenme ölçütleri açısından incelenmiştir. YTÜ Mimarlık Fakültesi ve dersliklerin konumu Şekil 1a'daki vaziyet planında gösterilmiştir [8]. Doğu ve batı yönüne bakan dersliklerin planları Şekil 1b ve c' de görüldüğü gibidir.



Şekil 1. (a) Vaziyet planı [8], (b) Batı yönündeki derslik planı, (c) Doğu yönündeki derslik planı

Batı yönündeki derslikte (taban alanı: 122 m²) toplam 7 adet pencere, doğu yönündeki derslikte (taban alanı: 103 m²) toplam 11 adet pencere bulunmaktadır (Şekil 1). İstanbul'da bulunan yapının pencereleri 4mm cam + 16mm hava boşluğu + 4mm çift cam ve alüminyum çerçeveden oluşmaktadır. İç yüzey ışık yansıtma çarpanları, sırasıyla tavan, duvarlar ve zemin için 0.80, 0.80 ve 0.30'dir.

Dersliklerin pencerelerinde, Çift cam, Low-e cam, yansıtıcı özelliğe sahip Elektrokromik cam (ref, yansıtıcı), yutucu özelliğe sahip Elektrokromik cam (abs, yutucu) ve Termokromik cam olması durumları ele alınmıştır. Değerlendirilen camlara yönelik ışık geçirime çarpanları Tablo 1'de verilmiştir. Dinamik camlara yönelik ışık geçirime çarpanları iklim verilerine bağlı olarak değişiklik göstermekle birlikte, Tablo 1'de tamamen saydam oldukları durumları için verilmiştir. Modelleme, hesaplamalar ve incelemeler DesignBuilder ile AutoCAD programları yardımıyla yapılmıştır [9].

Tablo 1. Cam tiplerine ait ışık geçirime çarpanları (τ) [9]

CAM TİPİ (4/16/4)	Işık geçirime çarpanı (τ)
Çift Cam	0.80
Low-E Cam	0.76
Elektrokromik Cam (Ref, Yansıtıcı)	0.76
Elektrokromik Cam (Abs, Yutucu)	0.73
Termokromik Cam	0.65

Yeterli Güneşliğin Sağlanması:

TS EN 17037:2019 Standardı'nda, yeterli güneşliğin sağlanması açısından yatay ve düşey açıklıklar için farklı değerler mevcuttur. Bu çalışma için ele alınan dersliklerde düşey pencereler yer aldığı için, düşey açıklıklara yönelik öneriler değerlendirilmiştir. Düşey açıklıklardan sağlanması gereken güneşliğin minimum, orta ve yüksek olarak derecelendirildiği koşullar Tablo 2'de yer almaktadır.

Tablo 2. Düşey açıklıklar için güneşliğin aydınlığına ilişkin önerilen değerler [7]

Önerilen Derece	Hedef Aydınlık Düzeyi	Hedef Aydınlık Düzeyinin Sağlandığı Referans Düzlem Oranı	Minimum Hedef Aydınlık Düzeyi	Minimum Hedef Aydınlık Düzeyinin Sağlandığı Referans Düzlem Oranı	Hedef Aydınlık Düzeyinin Sağlandığı Gündüz Saatlerinin Oranı
Düşük	300	%50	100	%95	%50
Orta	500	%50	300	%95	%50
Yüksek	750	%50	500	%95	%50

TS EN 17037 Standardı'na göre değerlendirmeler yapılırken, Tablo 2'deki hedef aydınlık düzeyinin 300 lx olarak önerilen düşük derece ölçütüne uygun olup olmadığına bakılmıştır. DesignBuilder programı ile EN 17037 Standardı açısından değerlendirme yapabilmek amacıyla referans düzlemde 0.5 m aralıklarla noktalar belirlenmiştir. Belirlenen noktalarda gündüz saatlerinin en az yarısında ($365 \times 12 \times \%50 = 2190$ saat en az) hedef aydınlık düzeyinin (≥ 300 lx) referans düzlemin en az %50'sinde sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmiştir. Söz konusu standardın düşük derece ölçütünün sağlanabilmesi için, hedef aydınlık düzeyinin referans düzlemin en az yarısında sağlanması yeterli değildir. 100 lx minimum hedef aydınlık düzeyinin de referans düzlemin en az %95'inde sağlanması gerekir. Bundan dolayı, ikinci bir hesap yapılarak, 100 lx hedef aydınlık düzeyinin sağlandığı referans alan oranı bulunmuştur.

Dış Görüş:

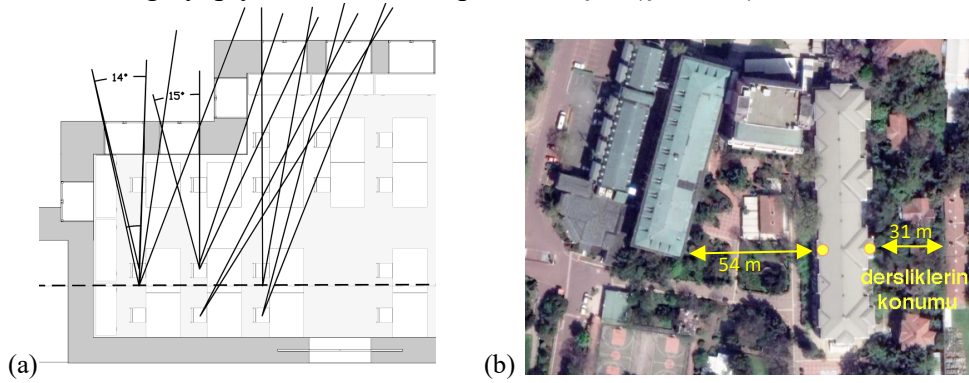
TS EN 17037:2019 Binalarda Güneşliğin Standardı'nda dış görüşe ilişkin olarak binalarda sağlanması beklenen ölçütler, yatay görüş açısı, dış görüş mesafesi ve görünür katman özellikleri başlıklarında ele alınmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. Binalarda dış görüş ölçütlerine göre derecelendirme [7]

Dış görüş ölçütleri	Minimum seviye	Orta Seviye	Yüksek Seviye
Yatay görüş açısı	$>14^\circ$	$>28^\circ$	$>54^\circ$
Dış görüş mesafesi (engel uzaklığı)	$>6m$	$>20m$	$>50m$
Görünür katman özellikleri (Kullanılan alanın en az %75'inden görünmesi gereken katmanlar)	Yapma/doğal çevre görünür	En az iki katman görünür	Tüm katmanlar görünür

Bu çalışmada, oturan kişinin yatay görüş açısını tespit etmek için 1.20 m yükseklikteki yatay düzlemde noktalar tanımlanarak, dersliklerdeki öğrencilerin sıralarda oturduğu konumlar için görüş açıları belirlenmiştir. Hacimlerde birden fazla pencere olduğu için yatay görüş açısı tüm pencereler için ayrı ayrı çizilmiş, değerlendirmede büyük açı dikkate alınmıştır. En yakın pencere, en büyük görüş açısını vermiştir (Şekil 2a). Yapılan değerlendirme, doğrudan açı ile ilgili bir durum olduğu için, çok açıktır ki cam tipinin değişmesi ile farklı sonuçlar vermez.

Yıldız Teknik Üniversitesi'nin vaziyet planından yararlanarak, en yakın dış engellerin dersliklerin bulunduğu yapıya uzaklıkları tespit edilmiştir (Şekil 2b).



Şekil 2. Yatay görüş açısı ve dış görüş mesafesinin tespitine yönelik yöntem

Görünür katman özelliklerine yönelik incelemelere, sayfa sınırlaması sebebiyle bu çalışmada yer verilememiştir.

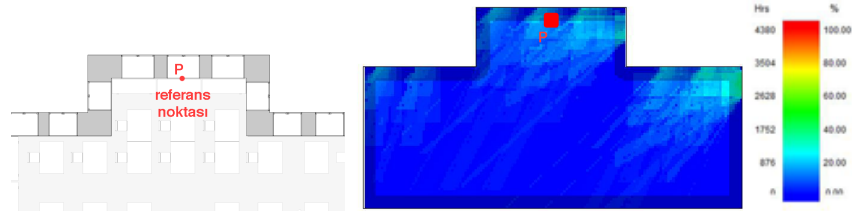
Güneşlenme:

İnsanların fiziksel ve psikolojik sağlığına da katkısı olan güneş ışığının hacme yeterince alınması ve gün içinde hacimde bulunma süresi önemlidir. İlgili standartta, referans bir gün için, CIE Açık Gök koşullarında direkt güneş ışığı alımının saat olarak toplamı güneşlenme süresi olarak ifade edilmektedir. Standartta, binalarda sağlanması gereken güneşlenme süresi, en az, orta ve yüksek derecelere ayrılarak Tablo 4'te verilmiştir. Güneşlenme süresinin tespiti için pencerenin iç tarafında ve hemen önünde 1.20 m yükseklikteki bir referans nokta için hesaplama yapılması önerilmektedir (Şekil 3).

Tablo 4. Güneşlenme süresine yönelik önerilen dereceler [7]

Güneşlenme Derecesi	Güneşlenme süresi
En az	1.5 saat
Orta	3 saat
Yüksek	4 saat

Referans noktanın güneş gördüğü süre, iklim verilerini kullanan bilgisayar programları ile de hesaplanabilir. DesignBuilder programı Energy Plus motorunun iklim verilerini kullanarak, yatay bir düzlemdeki yıllık güneşlenme süresini tespit edebilmektedir. Güneşlenme derecesinin tespit edilebilmesi amacıyla, dersliklerin orta bölümünde yer alan pencerenin iç tarafında yer alan 1.2 m yükseklikteki 0.1 m²'lik bir alan için yıllık güneşlenme süreleri hesaplanmıştır (Şekil 3). Tespit edilen yıllık güneşlenme süreleri 365 güne bölünerek günlük ortalama güneşlenme süresi bulunmuştur.



Şekil 3. Doğu yönündeki derslik için yıllık güneşlenme süresi

Yapay aydınlatma için kullanılan elektrik enerjisi performanslarını karşılaştırmak için, hacimlerin tavanının orta noktasına günışığı sensörü yerleştirilmiştir. Bu sensörler yeterli günışığının (≤ 300 lx) olmadığı zamanlarda yapay aydınlatma aygıtlarının çalışmasını sağlayacak biçimde ayarlanmıştır. Her iki derslikte her cam tipi için ayrı ayrı hesaplamalar yapılarak enerji tüketimleri karşılaştırılmıştır.

4. BULGULAR

Farklı cam tiplerinin EN 17037'ye göre, yeterli günışığı aydınlığının sağlanması ölçütünün düşük derecesi için değerlendirme verileri doğu ve batı cepheye bakan dersliklerde ayrı ayrı hesaplanarak Tablo 5 ve 6'da gösterilmiştir. Hedef aydınlık düzeyinin sağlanmadığı değerler gri ile işaretlenmiştir, en yüksek ve en düşük değerler koyulaştırılarak gösterilmiştir.

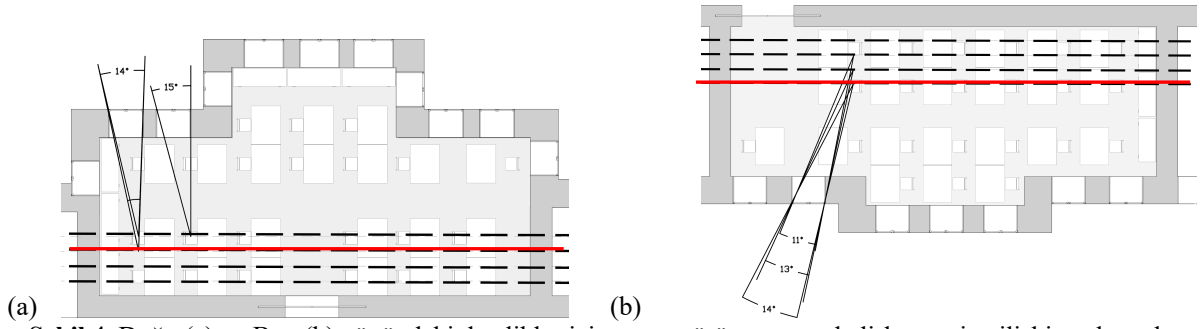
Tablo 5. Doğu yönündeki derslik için yeterli günışığı aydınlığının sağlanması ölçütüne yönelik değerlendirme

Doğu yönündeki derslik	300 lx hedef aydınlık düzeyinin sağlandığı alan oranı	100 lx hedef aydınlık düzeyinin sağlandığı alan oranı	Uygunluk durumu
Cam Tipleri (4mm cam/16mm hava/4mm cam)			
Çift Cam	%61.25	%100	Uygun
Low-e Cam	%57.50	%100	Uygun
Elektrokromik Cam (ref, yansıtıcı)	%57.50	%100	Uygun
Elektrokromik Cam (abs, yutucu)	%65.80	%100	Uygun
Termokromik Cam	%36.63	%98.75	Uygun değil

Tablo 6. Batı yönündeki derslik için yeterli günışığı aydınlığının sağlanması ölçütüne yönelik değerlendirme

Batı yönündeki derslik	300lx Hedef aydınlık düzeyinin sağlandığı alan oranı	100lx Hedef aydınlık düzeyinin sağlandığı alan oranı	Uygunluk
Cam Tipleri (4mm cam/16mm hava/4mm cam)			
Çift Cam	%96.97	%100	Uygun
Low-e Cam	%93.94	%100	Uygun
Elektrokromik Cam (ref, yansıtıcı)	%92.42	%100	Uygun
Elektrokromik Cam (abs, yutucu)	%95.45	%100	Uygun
Termokromik Cam	%43.94	%100	Uygun değil

Şekil 4'te her iki derslik için dış görüş açısına yönelik uygulama yöntemi ve açılar gösterilmektedir.



Şekil 4. Doğu (a) ve Batı (b) yönündeki derslikler için yatay görüş açısının belirlenmesine ilişkin çalışmalar

Doğu yönündeki dersliğin iç duvarından 1.5 m sonra (kırmızı çizgi ile belirlenmiştir) 14° ve daha büyük dış görüş açısı sağlanmıştır (Şekil 4a). Sağlanan alan hesaplandığında 78 m^2 olduğu, tüm alana oranının $\%75.7$ ($78/103 \text{ m}^2$) olduğu görülmüştür. Batı yönündeki derslik için ise iç duvardan 2 m sonra (kırmızı çizgi ile belirlenmiştir) 14° ve üstü dış görüş açısı sağlanmıştır (Şekil 4b). Bu durum 82 m^2 lik bir alan oluşturmakta olup, tüm alana oranı $\%67.2$ 'dir ($82/122 \text{ m}^2$).

Yıldız Teknik Üniversitesi'nin vaziyet planından yararlanarak, en yakın dış engellerin dersliklerin bulunduğu yapıya uzaklıkları (dış görüş mesafesi) doğu cephesi için 31 m ve batı cephesi için 54 m olarak tespit edilmiştir (Şekil 2b). Bu durum, doğu yönünde yer alan derslik için "orta seviye", batı yönünde yer alan derslik için "yüksek seviye" koşulunu sağlamaktadır.

Doğudaki derslik için, pencere önündeki 0.1 m^2 lik bir alanın yıllık güneşlenme süresi 764 saat olarak tespit edilmiştir (Şekil 3). Bu değer günlük ortalama 2.09 saate ($764 \text{ saat} / 365 \text{ gün}$) karşılık gelmektedir. Güneşlenme süresi için standartta önerilen derecelerden en az olanı karşılanmaktadır. Batı cephesindeki derslik için hesaplanan yıllık güneşlenme süresi 1100 saattir. Bu değer günlük ortalama 3.01 saat ($1100 \text{ saat} / 365 \text{ gün}$) olarak tespit edilmiştir ve standartta güneşlenme süresi için orta dereceye karşılık gelmektedir. Bu hesaplamalar her iki derslik için tüm camlarda uygulanmıştır. Güneşlenme süresi bütün cam tipleri için aynı sonucu vermiştir.

Güneş ışığı aydınlığının 300 lx 'ün altına düştüğü koşullarda yapay aydınlatma için kullanılan elektrik enerjisi performanslarını karşılaştırmak için, yıllık aydınlatma için kullanılan enerji kWh cinsinden Tablo 7 'de iki ayrı derslik için de verilmiştir. En olumlu ve en olumsuz durumlar koyulaştırılarak gösterilmiştir.

Tablo 7. Doğu ve batı yönündeki dersliklere yönelik yıllık yapay aydınlatma için kullanılan elektrik enerjisi hesap sonuçları

Cam Tipleri (4mm cam/16mm hava/4mm cam)	Yapay aydınlatmada kullanılan elektrik enerjisi (yıllık, kWh)	
	Doğu yönündeki derslik	Batı yönündeki derslik
Çift Cam	1043.63	863.51
Low-e Cam	1050.59	919.40
Elektrokromik Cam (ref, yansıtıcı)	1058.71	925.49
Elektrokromik Cam (abs, yutucu)	1052.64	920.68
Termokromik Cam	1175.39	1030.27

5. SONUÇ

İki farklı derslikte ayrı ayrı, çift cam, low-e cam, elektrokromik cam ve termokromik camlarla ilgili yapılan incelemeler sonucunda elde edilen bulgular değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Doğu yönündeki derslik için yapılan hesap ve etüt sonuçlarına göre;

- Yeterli günışığı, termokromik cam dışında tüm camlarla sağlanmıştır. Ancak en iyi performansı elektrokromik (abs) cam göstermiştir.
- Yatay görüş açısı değerlendirildiğinde, minimum koşulun hacmin %75.7'sinde sağlandığı görülmüştür.
- Dış görüş mesafesi 31 m olup “orta seviye” ye karşılık gelmektedir.
- Güneşlenme süresi, ortalama günlük 2.09 saat ile günışığı standardının minimum koşulunu sağlamaktadır.
- Yıllık aydınlatmada kullanılan elektrik enerjisi ihtiyacı en az çift camlı durumda (1043.63 kWh) bulunmuştur. En fazla enerji tüketimi termokromik cam kullanıldığında olmuştur (1175.39 kWh).

Batı yönündeki derslik için yapılan değerlendirme sonuçlarına göre;

- Doğudaki derslikte olduğu gibi termokromik cam dışında tüm camlarla hedef aydınlık düzeyine ulaşılmıştır. En iyi performansı ise çift cam göstermiştir.
- Yatay görüş açısı, hacmin %67.2'sinde sağlanmıştır.
- Dış görüş mesafesi, 54 m olarak tespit edilmiştir. Bu durum, standarttaki “yüksek seviye” koşuluna karşılık gelmektedir.
- Güneşlenme süresi, ortalama günlük 3.01 saat ile standardın orta derecesi için uygun değerdedir. Doğudaki dersliğe göre daha fazla süre güneş almaktadır.
- Yıllık aydınlatmada kullanılan elektrik enerjisi ihtiyacı doğudaki derslikte olduğu gibi en az çift camlı durumda (863.51 kWh) bulunmuştur. Yine en fazla enerji tüketimi, ısı değişimine bağlı olarak saydamlığı azalan termokromik cam (1030.27 kWh) ile olmuştur.

Cam tiplerinin, hacim içi günışığı performansına ve aydınlatma için tüketilen enerjiye etkisinin incelendiği bu çalışma enerji etkin tasarım bağlamında tasarımcılara yardımcı olması hedefiyle yapılmıştır. Her camın günışığı performansı açısından olumlu ya da olumsuz özellikleri bulunmasının yanı sıra, cam teknolojisindeki gelişmelerin büyük bir ivmeyle hızlandığı günümüzde, cam tipine yönelik kararların bu gelişmeler takip edilerek ilk tasarım aşamasından itibaren ele alınması önemlidir.

KAYNAKÇA

1. Fernandes, L. L., Lee, E.S., Ward, G., Lighting energy savings potential of split-pane electrochromic windows controlled for daylighting with visual comfort, Energy and Building; 61, 8-20, 2013.
2. Düzgün, N., Aydın Yağmur, Ş., Mimari yapılarda cam kullanımı ve cam özelliklerinin bina enerji performansına etkisi, 4. Uluslararası Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Kongresi, İstanbul, 149-159, İstanbul, 2019.
3. Nabil A, Mardaljevic J., Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors, Energy and Buildings, 38(7), 2006.

4. Mardaljevic, J., Christoffersen, J., Raynham, P., A proposal for a European Standart for daylight in buildings, Lux Europa 2013, Krakow, Polonya, 2013.
5. IES, LM-83-12: Approved method: Spatial daylight autonomy (sDA) and Annual sunlight exposure (ASE), Illuminating Engineering Society, 2013.
6. British Standards (BS), EN 17037:2018 Daylight in Buildings, 2018.
7. Türk Standardları Enstitüsü (TSE), TS EN 17037 Binalarda Gün ışığı, 2019.
8. <https://www.google.com/maps/dir/41.0524187,29.0107097>
9. DesignBuilder, <https://designbuilder.co.uk/helpv6.0>, 01.08.2019.

ARMATÜR TİPLERİNİN KULLANICI KONFORU VE ENERJİ TÜKETİMİ BAKIMINDAN İNCELENMESİ: BİR KONUT BİNASI ÖRNEĞİ

Sedef Uçaryılmaz¹, Aybüke Taşer², Tuğçe Kazanasmaz³

¹ İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mimarlık Bölümü, sedefyerlikaya@iyte.edu.tr

² İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mimarlık Bölümü, aybuketaser@iyte.edu.tr

³ İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mimarlık Bölümü, tugcekazanasmaz@iyte.edu.tr

Türkiye'deki elektrik enerjisi tüketiminin %21,1'inden sorumlu olan konut binalarının enerji tüketiminin büyük bir kısmından da yapay aydınlatma sistemleri sorumludur. Aydınlatma sadece enerji bakımından değil, aynı zamanda kullanıcı konforu bakımından da önemlidir. Çalışmaların da gösterdiği gibi uygun aydınlatma koşulları kullanıcılar için daha yaşanılabilir alanlar sunar. Bu sebeple aydınlatma sistemleri enerji tüketimi ve kullanıcı konforu esasları gözetilerek tasarlanmalıdır. Aydınlatma sistemlerinin tasarımında kullanılan armatür tipleri bu bakımdan önem taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı, farklı armatür tiplerinin ve pencere-duvar oranı değişkenlerinin kullanıcı konforu ve enerji tüketimine olan etkisini sıcak-nemli iklime sahip Aydın'da bulunan 5 katlı bir konut binası üzerinden incelemektir. Çalışmadaki değişkenlerin etkisini anlamak için 4 farklı senaryo ve 1 mevcut durum Relux Güneşli Simülasyonu ve Modellemesi yazılımında 3 boyutlu olarak modellenmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki, çeşitli LED armatürler, dolaylı ve dolaysız aydınlatma sistemlerine entegre edildiklerinde kullanıcı konforu ve enerji tüketimini oldukça iyileştirmektedir.

Anahtar kelimeler: Enerji Tüketimi, İnsan Odaklı Aydınlatma, Kullanıcı Konforu, Pencere-Duvar Oranı

Investigation of Luminaire Types in Terms of User Comfort and Energy Consumption: A Case of a Residential Building

Artificial lighting systems are responsible for large part of energy consumption of residential buildings, which accounts for 21.1% of electrical energy consumption in Turkey. Artificial lighting is significant not only for energy consumption but also for user comfort. As studies have shown, proper lighting conditions offer more livable spaces for occupants. Therefore, lighting systems should be designed considering principles of energy consumption and user comfort. Luminaire types and glazing area are significant in this sense. This study aims to investigate effects of luminaire types and window-to-wall ratio on user comfort and energy consumption on a 5-story residential building in hot-humid climate of Aydın, Turkey. To understand the effect of variables, 4 different scenarios and 1 base case condition are modeled in Relux Software. According to results, varied LED luminaires significantly improve user comfort and energy consumption when they are integrated into indirect and direct lighting systems.

Keywords: Energy Consumption, User-oriented Lighting, User Comfort, Window-to-wall Ratio

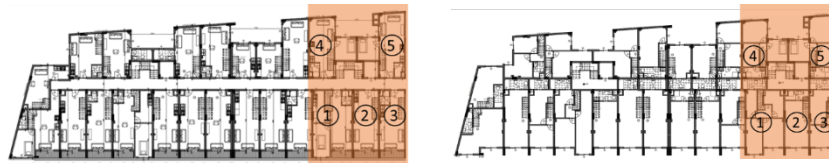
1. GİRİŞ

Konutlarda kullanılan yapay aydınlatma sistemleri, binaların elektrik enerjisi tüketiminin büyük bir kısmından sorumludur. Türkiye'de konutta elektrik tüketimi, toplam elektrik tüketiminin %21,1'ini oluşturmaktadır [1]. 2013 verilerine göre, her evde ortalama yıllık elektrik enerjisi tüketimi 1528 kWh düzeyindedir. Bu tüketimin yaklaşık %30'u aydınlatma için tüketilmektedir. Buna göre aydınlatma amacıyla konut başına yılda ortalama 443 kWh elektrik enerjisi kullanılmaktadır [2]. Konutlarda tüketilen elektriğin büyük bir kısmını aydınlatma

yükleri oluştursa da mevcut günışığını etkili kullanmak bu yükleri azaltabilir [3]. Literatürde yapılan çalışmalar göstermiştir ki, doğru aydınlatma sistemleri ve günışığı birlikte kullanıldığında sadece binanın aydınlatma yüklerini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda kullanıcılar için daha yaşanılabilir bir ortam sunar [4]. Bu yüzden tasarım aşamasında çevresel etmenler de göz önünde bulundurularak kullanıcı konforu ve enerji tüketimi bakımından uygun aydınlatma armatürleri seçilmelidir. Buna uygun olarak bu çalışma şu sorulara yanıt bulmayı amaçlar: “Kullanıcı konforu ve enerji tüketimi bakımından farklı armatür tipleri nasıl performans gösterir?” ve “Derinliği fazla olan iç mekanlarda aydınlatma yükleri ve kullanıcı konforu nasıl iyileştirilir?” Bir çalışmada, bir ofis binasındaki armatür sayısı ve yerleşiminin aydınlatmanın homojen dağılımı üzerindeki etkisi araştırılmıştır [5]. Araştırmada farklı senaryolar OptimLUM simülasyon yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışma farklı sayı ve yerleşimdeki armatür tiplerini enerji verimliliği açısından karşılaştırıp enerji tüketimindeki maksimum iyileştirmeyi amaçlamıştır. Sonuçlara göre, yapay aydınlatma tasarımı ile binanın yapay aydınlatma yükleri azaltılırken kullanıcıların görsel konforu da iyileştirilebilmektedir. Başka bir çalışmada, yapay bir aydınlatma sistemi ile gün ışığı entegrasyonunda aydınlatmadaki enerji tasarrufu potansiyelini tahmin etmek için ideal pencere alanı hesaplanmıştır [6]. Metodolojiyi geliştirmek için on farklı büyüklükte oda ve beş farklı oda oranı seçilmiştir. Sonuçlara göre aydınlatmanın enerji tasarrufu potansiyelinin tüm senaryolar için %10,8 ile %44,0 arasında değiştiği görülmüştür.

2. MATERYAL VE YÖNTEMLER

Çalışmaların da gösterdiği gibi tasarım aşamasındaki kararların ve farklı aydınlatma sistemlerinin kullanıcı konforu ve enerji tüketimi üzerinde önemli bir etkisi vardır. Bu yüzden bu çalışmanın amacı, aydınlık düzeyinin homojen dağılımını sağlamak ve aydınlatma enerjisi tüketimini en aza indirmektir. Çalışmanın incelendiği 23 Eylül ve 21 Aralık tarihlerinde güneşten dolayı bir kamaşma söz konusu olmadığından dolayı sonuçlar incelenirken kamaşma düzeyi göz önünde bulundurulmamıştır. Bu çalışma için sıcak-nemli iklime sahip Aydın'da 5 katlı bir bina seçilmiştir. Binanın bir katında birden fazla daire bulunmaktadır. Çevresel etmenlerin de etkisinin anlaşılabilmesi için farklı cephelere sahip 5 daire seçilmiştir (Şekil 1). Dairelerden üçü güneye, ikisi ise doğu ve batı cephesine bakmaktadır. Dairelerin derinlikleri 8 metreden fazla olduğundan dolayı günışığının homojen olmayan dağılımı ve yüksek aydınlatma enerjisi tüketimi mevcuttur (Tablo 1). Derinliğin en fazla olduğu salon ve mutfak alanları için hesaplamalar yapılmıştır.



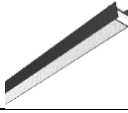
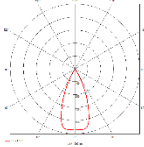
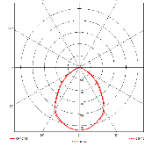
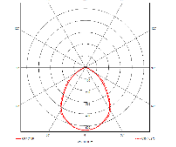
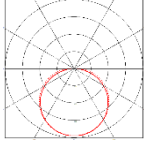
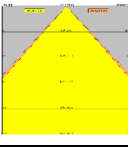
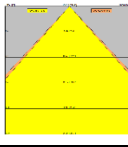
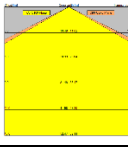
Şekil 1. Turuncu ile öne çıkarılan seçilmiş dairelerin zemin ve 1. kat plan çizimleri

Tablo 1. Seçilen dairelerin tipoloji, alan, yönelim ve derinlik özellikleri

Daire	Tipoloji	Alan (m ²)	Yönelim	Derinlik (m)
Daire-1	3+1	122	Güney	8.30
Daire-2	1+1	75	Güney	8.30
Daire-3	2+1	82	Güney	8.30
Daire-4	4+1	107	Kuzey ve Doğu	8.30
Daire-5	4+1	112	Kuzey ve Batı	9

Bir çalışmaya göre aydınlatma düzeyi ve gün ışığının homojen dağılımı kullanıcı memnuniyeti bakımından en önemli parametrelerden bazıları olarak belirlenmiştir [7]. Bu amaçla bu çalışmada oda derinliğine bağlı olarak doğal aydınlatmanın yetersiz kalmasından dolayı yüksek enerji tüketimini önlemek adına çözümler aranmıştır. Bu daireleri iyileştirmek için 4 farklı öneri senaryo geliştirilmiştir. Senaryolar simülasyon modelleri oluşturularak Relux programında test edilmiştir. Simülasyon aşamasında opak yüzey malzemeleri, cam tipleri, yapay aydınlatma armatür tipleri gibi özellikler simülasyon yazılımına tanıtılmıştır. Sonuçların değerlendirilmesi için yerden 75 cm yükseklikte referans düzlemi oluşturulmuştur. Aydınlık düzeylerinin ölçüldüğü referans düzleminin X ve Y eksenlerinde sırasıyla 21 ve 32 nokta yer almaktadır. Hassas ölçüm yapabilmek için noktalar arası mesafe 61 cm olarak belirlenmiştir. Simülasyonlar, güneşin konumundan dolayı aydınlık düzeylerinin en düşük olduğu 23 Eylül ve 21 Aralık tarihleri ve saat 12:00 için bulutlu gökyüzü koşulları altında yapılmıştır. Çalışmanın bağımsız değişkenleri pencere boyutları ve armatür tipleri olarak belirlenmiştir. Seçilen armatür tipleri ve özellikleri aşağıdaki tabloda belirtilmiştir (Tablo 2). Armatür tipleri seçilirken renk sıcaklığı, ışık akısı, güç, ışık dağılım eğrisi ve ışığı yayma biçimleri göz önünde bulundurulmuştur. Bu değişkenlere göre 4 farklı armatür tipi seçilmiştir. Ayrıca, armatür tipleri belirlenirken konutlarda kullanılan armatür tipleri göz önünde bulundurulmuştur. Yapılan bir çalışmada anket sonuçlarına göre, kullanıcı konforu bakımından Türkiye’deki konutlarda en çok tercih edilen armatür tipi LED armatürler olarak belirlenmiştir [7]. Bunun sebebi düşük enerjili olmaları ve ışığı daha homojen dağıtmalarıdır. Çalışmada konutların büyük bir kısmı tek cepheli olduğundan ışık yeterliliği bakımından en etkili aydınlatma LED olarak seçilmiştir.

Tablo 2. Farklı armatür tiplerinin detaylı verileri

Senaryolar (S)	Mevcut ve S1	S2	S3	S4
Ürün ismi	LED-NPL-36-FL	LED	150mA	Flex Strip IP53 300 Mono – W, L624804
Armatür türü	Dairesel, sarkıt lamba	Lineer, yüzeye monte	Dairesel, yüzeye monte	Lineer, yüzeye monte
Ölçüleri (Ø) (mm)	510 x 493	1214 x 100 x 80	82 x 0.0	1000 x 8 x 3
Işık akısı (lm)	3050	2617	470	458
Güç (W)	36	24	7	4.8
Renk sıcaklığı (K)	3000	4000	Belirtilmemiş	6000
Armatür etkililiği (lm/W)	84.72	109.04	67.14	95.43
Armatür görseli				
Işık dağılım eğrisi				
Işığı yayma biçimi				
Armatür adedi (n)	14	14	40	99

İlk senaryoda pencere boyutları artırılarak odaların arka taraflarının da yeterli ışık alması amaçlanmıştır. Böylelikle enerji tüketimindeki iyileşme hesaplanmıştır. İkinci senaryoda

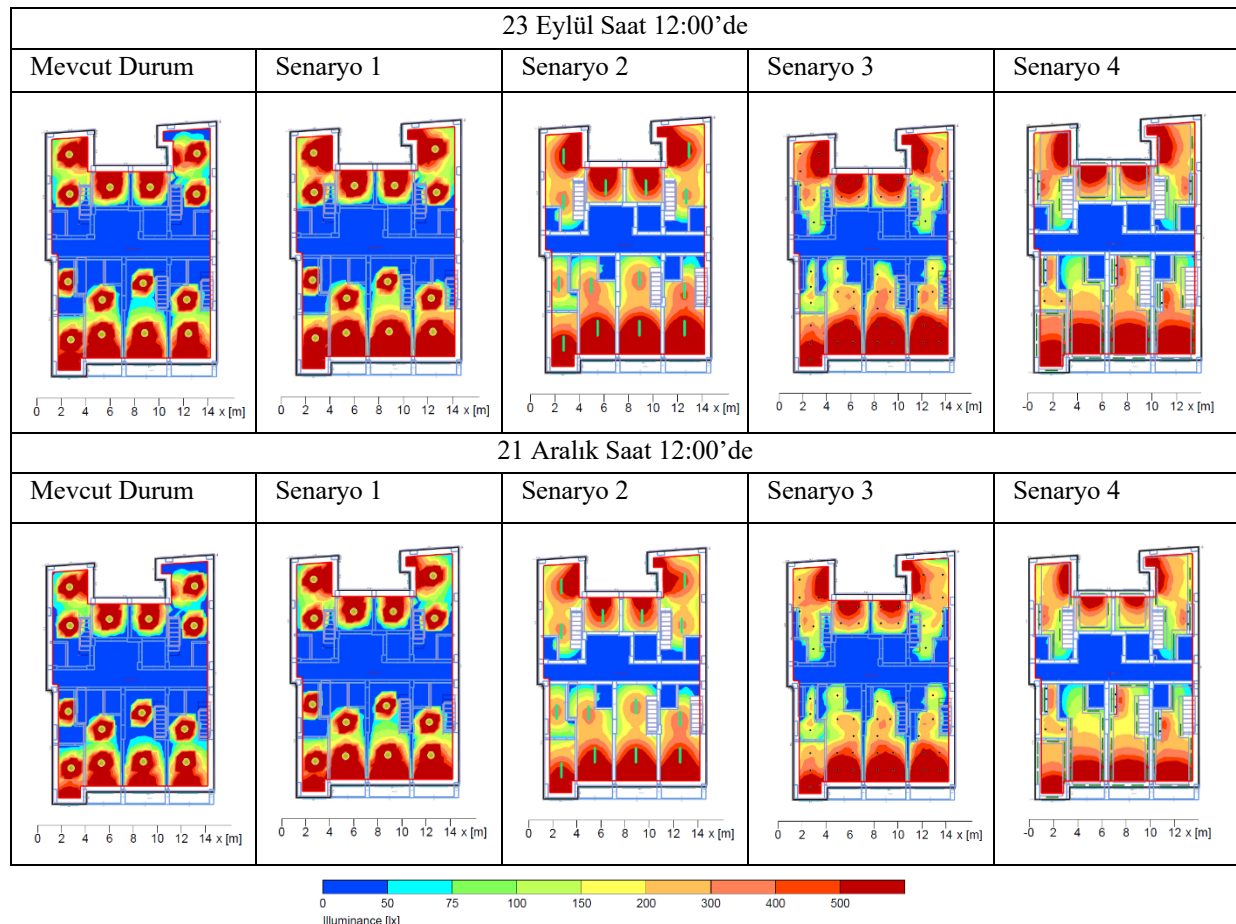
armatür olarak ince uzun lineer ve yüzeye monte LED armatürler kullanılarak armatür tipi değiştirilmiştir. Armatür sayısı sabit tutulmuştur. Üçüncü senaryoda ise düşük enerjili, dairesel ve yüzeye monte küçük spot armatürler tercih edilerek armatür sayısı ve yerleşim tasarımı değiştirilmiştir. Son senaryoda ise mutfakta tezgâh üstüne gelecek şekilde spot armatür ve salonda duvar yakınlarına dolaylı aydınlatma armatürleri yerleştirilmiştir. Bu armatürler ince uzun, lineer ve tavana monte LED şeritler olarak seçilmiştir.

3. BULGULAR

Sonuçlar analiz edilirken mekânın %50'sinde aydınlık düzeyinin 300 lux, %95'inde ise en az 100 lux olması hedeflenmiştir [8]. Bu koşulların sağlanmadığı yerlerde yapay aydınlatma sistemi kullanılmıştır. Enerji hesabı ve kullanıcı konforu buna göre analiz edilmiştir. Mevcut durum ve 4 öneri senaryo olmak üzere toplamda 5 durum analiz edilmiştir. Analizler görsel olarak detaylı bir şekilde karşılaştırılmıştır. Sonuçlar mevcut durum ile kıyaslanmıştır.

3.1 Mevcut Durum

1+1, 2+1, 3+1, 4+1 tipolojilerden oluşan konutlardaki odaların ortak özellikleri tek cepheli olmalarıdır. Pencere-duvar oranları dairelerde sırasıyla %43,4, %37, %37, %50,4, %35 değerleridir. Enerji hesaplamaları dubleks tipi konutların zemin katındaki salon + mutfak tipolojileri baz alınarak yapılmıştır. Bu çalışmada senaryolardaki değişken belirlenirken, odalardaki derinliğin 8,30 m olması ve özellikle mutfak alanlarındaki yetersiz aydınlık düzeyi ile ışığın homojen dağılmaması göz önünde bulundurulmuştur (Şekil 2).



Şekil 2. 23 Eylül ve 21 Aralık 12:00'de bulutlu hava koşulları altında günışığı ve yapay aydınlatma bütünleşik aydınlık değer eğrileri

Mevcut duruma bakıldığında 23 Eylül için 300 lux ve 100 lux üstünde kalan alanların oranı sırasıyla %29,8 ve %49,1 olarak hesaplanırken bu oran 21 Aralık için %26,4 ve %41,3'tür. Simülasyon analizinin doğruluğu için akşam 00.00 ile sabah 07.00 saatleri arasında yapay aydınlatma kullanımı göz ardı edilmiştir. Gün içinde kullanılan yapay aydınlatmanın günlük enerji tüketimi ve mevsimsel enerji tüketimi için belirtilen formüller kullanılmıştır [9]:

- (1) Günlük Enerji Tüketimi = armatürün gücü x armatür sayısı x çalışma saati
(2) Mevsimsel Enerji Tüketimi = günlük enerji tüketimi x 75 (gün)

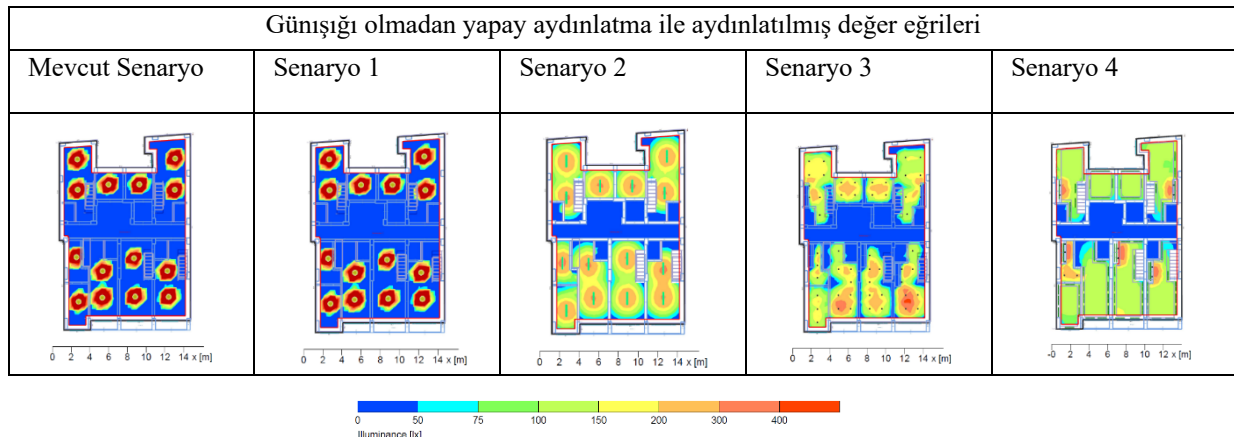
Bu hesaplama yöntemine göre 23 Eylül ve 21 Aralık için günlük toplam enerji tüketimi 5,07 ve 5,13 kWh olarak hesaplanmıştır. Yukarıdaki formüllere göre mevcut senaryo ile öneri senaryolar karşılaştırıldığında günlük enerji tüketimi değişiminin % cinsinden değeri aynı zamanda mevsimler enerji tüketiminin değişiminin % cinsinden değerini vermektedir.

3.2 Senaryo-1: Pencere-Duvar Oranının Değiştirilmesi

Güneşli ve yapay aydınlatmanın bütünleşik simülasyon sonuçları değerlendirilirken bu senaryoda pencere-duvar oranı değiştirilmiştir. Bu önerideki ana hedef pencere boyutlarının artırılarak yeterli ışık almayan alanların iyileştirilmesidir. Bu sayede yapay aydınlatma enerji tüketiminin azaltılması hedeflenmektedir. Pencere-duvar oranları dairelerde %70, %58,2, %58,2, %80, %83,3 olarak değiştirilmiştir. Mevcut durum ile karşılaştırıldığında, 300 lux ve 100 lux üstünde kalan alanlar 23 Eylül için %10 ve %16 artarken, 21 Aralık için sırasıyla %8 ve %14 artmıştır. Bununla birlikte 5 dairedeki günlük toplam enerji tüketimi 23 Eylül ve 21 Aralık tarihleri için sırasıyla %26,9 ve %31,2 azalmıştır.

3.2 Senaryo 2: Armatür Tipinin Değiştirilmesi

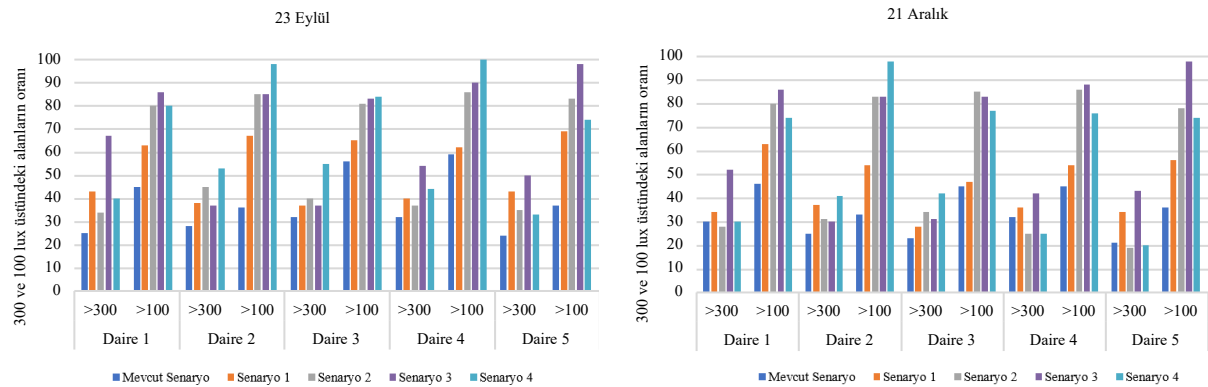
İkinci senaryoda yapay aydınlatma armatürleri olarak şerit LED armatürler seçilmiştir. Senaryo 1'e göre armatür yeri ve sayısı değiştirilmeden sadece armatür tipi değiştirilerek elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Işığı yayma açısı ilk senaryoya göre daha geniş ve gücü daha düşük bir armatür önerilmiştir. Sonuçlar mevcut senaryo ile karşılaştırıldığında, 23 Eylül tarihi için 300 lux üzerindeki aydınlık düzeyi oranı %8 artarken 100 lux üzerindeki aydınlık düzeyi %34 artmıştır. 21 Aralık için ise 300 lux üzerindeki aydınlık düzeyi oranı önemli ölçüde değişmezken 100 lux üzerindeki aydınlık düzeyi %41 artmıştır. Bununla birlikte 5 dairedeki günlük toplam enerji tüketimi 23 Eylül ve 21 Aralık tarihleri için sırasıyla %43,1 ve %45,9 azalmıştır. LED armatür seçimi odaların arka taraflarındaki düşük aydınlık düzeylerini oldukça artırmıştır. Aynı zamanda aşağıda da görüleceği gibi (Şekil 3.) daha homojen bir aydınlık dağılımı sağlayarak yeterli aydınlanmamış yerleri de iyileştirmiştir.



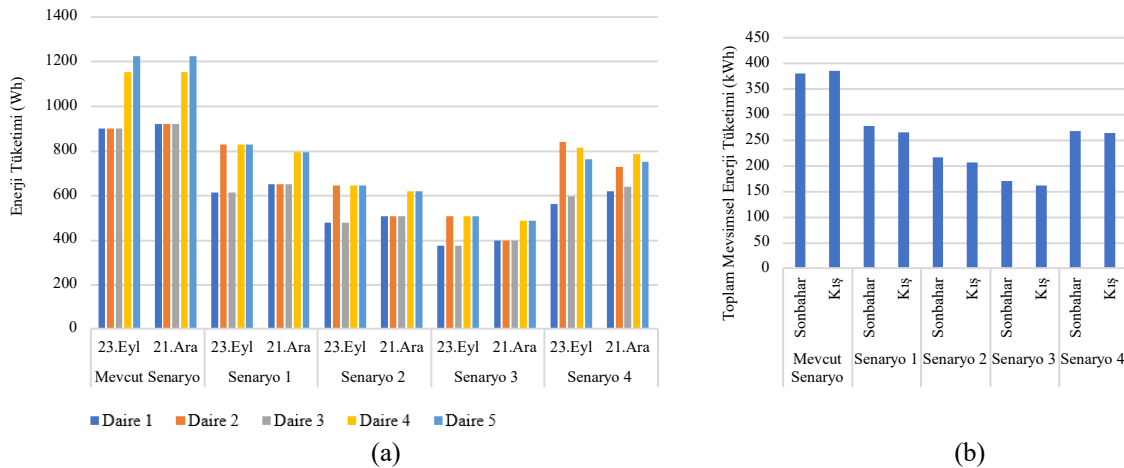
Şekil 3. Yapay aydınlatma değer eğrileri

3.2 Senaryo 3: Armatür Tipi ve Yerleşim Tasarımının Değiştirilmesi

Üçüncü senaryoda armatür olarak küçük spotlar kullanılmıştır. Bu önerinin ilk iki senaryodan farkı armatür tipinin yansıma sayısı ve odadaki konumu da değiştirilmiştir. Seçilen armatür ilk iki senaryoya göre en düşük güce sahip armatürdür. Mutfak tezgahlarındaki minimum aydınlık düzeyi 300 lux olarak belirlendiğinden dolayı armatür sayısı ve yerleşimi, alanın işlevselliği ve kullanıcı ihtiyaçları baz alınarak tasarlanmıştır. Sonuçlara göre, 23 Eylül için 300 lux üzerindeki aydınlık düzeyi oranı %20 artarken 100 lux üzerindeki aydınlık düzeyi %40 artmıştır (Şekil 4.). 21 Aralık için ise 300 lux üzerindeki aydınlık düzeyi oranı %14 artarken 100 lux üzerindeki aydınlık düzeyi %47 artmıştır. Bununla birlikte 5 dairedaki günlük toplam enerji tüketimi 23 Eylül ve 21 Aralık tarihleri için sırasıyla %55,3 ve %57,5 azalmıştır. Sonuçların karşılaştırmalı grafikleri Şekil 4. ve Şekil 5'te sunulmuştur.



Şekil 4. 23 Eylül ve 21 Aralık 12:00'de bulutlu hava koşulları altında günışığı ve yapay aydınlatma bütünsel sonuçlarında 300 lux ve 100 lux üstünde kalan ölçüm noktalarının oranı



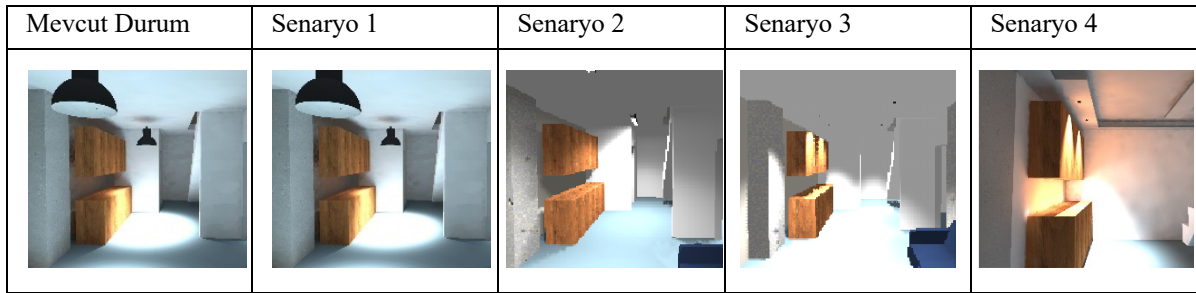
Şekil 5. (a) Senaryoların 23 Eylül ve 21 Aralık tarihleri için günlük enerji tüketim verileri (b) Senaryoların sonbahar ve kış için toplam mevsimsel enerji tüketim verileri

3.2 Senaryo 4: Dolaylı Aydınlatma Armatürlerinin Uygulanması

Bu senaryoda kullanılan armatür tipi seçilirken düşük enerji ve yüksek ışık akısına sahip lineer, tavana monte şerit LED armatürler seçilmiştir. Bu sayede aydınlık düzeyinin ve homojenliğin yüksek olması ve enerji tüketiminin az olması hedeflenmiştir. Yerden 2.6m yükseklikte oluşturulan asma tavana monte edilen şerit armatürler, dolaylı aydınlatma armatürü olarak kullanılmıştır. Diğer senaryolardan farklı olarak, armatürlerin tamamı aynı anda açılmamıştır. Mutfak tezgahlarındaki minimum aydınlık düzeyi 300 lux olarak belirlendiğinden dolayı buraları aydınlatması için ayrıca dairesel, yüzeye monte, spot armatürler mutfak dolabı altlarına

yerleştirilmiştir. Ayrıca yine mutfak tezgâh alanındaki yeterli aydınlatmayı sağlamak için spot lambalar, ayrı anahtar sistemine bağlı olarak yerleştirilmiştir. Sonuçlara göre, 23 Eylül tarihi için 300 lux üzerindeki aydınlık düzeyi oranı %13 artarken 100 lux üzerindeki aydınlık düzeyi %28 artmıştır (Şekil 4.). 21 Aralık için ise 300 lux üzerindeki aydınlık düzeyi oranı %5 değişirken 100 lux'ün üzerindeki aydınlık düzeyi %38 artmıştır. Bununla birlikte 5 dairedaki günlük toplam enerji tüketimi 23 Eylül ve 21 Aralık tarihleri için sırasıyla %29,7 ve %30,7 azalmıştır. Bu senaryoda Şekil 2 ve 3'te görüleceği gibi yeterli aydınlık düzeyine sahip olmayan alanlar oldukça iyileşmiş ve ışığın homojen dağılımı sağlanmıştır (Şekil 6). Minimum aydınlık düzeyi (E_{min}) artmış ve maksimum düzey (E_{max}) azalmıştır (Tablo 3). Homojenlikte görülen iyileşmeye rağmen yüksek aydınlık düzeylerinin azalmasından dolayı 300 lux üzeri alanların oranı azalmıştır.

4 Senaryo karşılaştırıldığında enerji tüketiminin en az olduğu senaryo, dairesel ve yüzeye monte spot ışıkların kullanıldığı Senaryo 3 olmuştur. Optimum aydınlık düzeyleri açısından en yüksek iyileştirme düzeyi de yine Senaryo 3 de sağlanmıştır. Bunun sebebi, spot ışıklar noktasal ve yüksek düzeyli aydınlatma sağladıklarından dolayı, düşük aydınlık düzeylerini oldukça artırmalarıdır. Ayrıca düşük güce sahip olduklarından dolayı, az sayıda spot armatür ile yüksek aydınlık düzeyleri sağlanabilmektedir. Homojenlik bakımından ise Senaryo 4 en iyi sonuçları vermiştir. Buna rağmen enerji tüketimi açısından beklenen sonuçları karşılamamıştır. Son olarak, Senaryo 1 ile Senaryo 4 aynı enerji tüketim verilerine sahipken, 4. Senaryo, kullanıcı konforunu sağlamayı hedeflemekte ve insan odaklı bir aydınlatma tasarımına yönelip mekanlar arasındaki ayrımı da buna göre yapmaktadır.



Şekil 6. Mevcut durum ve senaryoların yalnız yapay ışık altında ışın izleme görselleri

Tablo 3. 21 Aralık ve 23 Eylül 12:00 için günışığı ve yapay aydınlatmanın bütünleşik detaylı sonuçları

Senaryolar	Tarih	Aydınlık (lx)			Lambaların toplam ışık akısı (lm)*	Toplam güç (W)*	Alan başı toplam güç (W/m²) *	Değişim katsayısı (CV)*
		E _{ort}	E _{min}	E _{maks}				
			(*Tüm lambaların açık olduğu durumda)					
Mevcut senaryo	23.09	340	0,12	2636	42.700	504	2,01	847
	21.12	308	0,09	2629	42.700	504	2,01	835
1	23.09	461	0,23	2666	42.700	504	2,01	900
	21.12	368	0,18	2646	42.700	504	2,01	806
2	23.09	354	0,52	1816	36.638	336	1,34	501
	21.12	305	0,40	1401	36.638	336	1,34	272
3	23.09	458	1	2087	20.210	301	1,20	626
	21.12	332	0,85	1284	20.210	301	1,20	370
4	23.09	411	2,01	1948	42.470*	575*	2,30*	524*
	21.12	290	1,93	1214	42.470*	575*	2,30*	287*

4. SONUÇ

Bu çalışma, pencere-duvar oranı, armatür tipleri, sayısı ve yerleşim tasarımı üzerine detaylı bir analiz çalışması sunmaktadır. Çalışmada, belirtilen değişken Relux yazılımının simülasyon modellerinde test edilmiştir. Belirtilen her değişken farklı bir senaryoda incelenmiştir. Bu çalışmadan çıkarılan sonuçlara göre pencere-duvar oranının artırılması ortalama (E_{ort}) ve maksimum (E_{max}) aydınlık düzeylerini artırırken, iç mekânın pencereden uzak kalan kısımlarının aydınlık düzeylerini büyük oranda iyileştirmektedir. Ancak, E_{ort} ve E_{max} beraber arttığı için homojenlik oranlarında önemli ölçüde bir iyileşme olmamaktadır. Pencere oranının artması 300 lux ve 100 lux üstünde kalan alanların oranını iyileştirirken enerji tüketimini de önemli ölçüde azaltmaktadır. Işığı yayma açısı daha geniş olan lineer LED armatürler düşük aydınlık düzeylerini önemli ölçüde iyileştirirken enerji tüketimini de oldukça azaltmaktadır. Ayrıca düşük aydınlık düzeylerini artırıp aşırı parlamayı azalttıklarından dolayı homojenliği de artırmaktadırlar. Konut mutfaklarındaki kullanıcı odaklı aydınlatma sistemi tasarımında tavana monte, küçük ve dairesel spot ışıklar tercih edilebilmektedir. Bu armatür tipi düşük güce sahip olduğundan dolayı enerji tüketimini diğer senaryolara göre daha fazla azaltmaktadır. Dolaylı aydınlatma sistemleri maksimum aydınlık düzeylerini azaltmakta ve minimum düzeyi artırmaktadır. Bu sebeple homojenlikte iyileşme sağlamaktadır. Buna rağmen, 300 lux ve üzeri aydınlanan alanların oranını azaltmaktadır. Yine de mevcut durum ile karşılaştırıldığında hem enerji tüketimi hem de kullanıcı konforu bakımından daha iyi sonuç vermektedir. Öneri senaryolar uygun teknik özelliklere sahip armatürlerin insan odaklı tasarımında kullanımının aydınlatma enerjisi yüklerini azaltıp kullanıcı konforunu artırabildiğini açıkça ortaya koymaktadır. Ayrıca öneri senaryoların iç mekân tasarımının estetiğine de katkı sağladığı açıktır.

KAYNAKÇA

1. TEDAŞ, elektrik tüketim verileri. <https://www.tedas.gov.tr/>, 2018, 16.05.2021
2. Öztürk, M., Energy and Environment World, 2019.
3. Udhwani, L., Soni A., Evaluation of daylighting performance in an office building: a case study, Materials Today, 2020.
4. Muraviova, N., Alexei S., Sergei S., Comfort light environment under natural and combined lighting: method of their characteristics definition with subjective expert appraisal using, Light and Engineering; 124-131, 2018.
5. Uygun, İ., An Optimization Model for Luminaire Layout Design in Office Spaces: OptimLUM, Doktora tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir, 2018.
6. Ene dir, G., Tinker, J., An ideal window area concept for energy efficient integration of daylight and artificial light in buildings, Building and Environment; 51-61, 2005.
7. Aslanoğlu, R., Pracki, P., Kazak, J. K., Ulusoy, B., Yekanalibeiglou, S., Short-term analysis of residential lighting: a pilot study, Building and Environment; 196, 2021.
8. Uç, B., Öztürk, D., L., Determination of window openings to provide the required daylight provision in living rooms of residences, 12. Ulusal Aydınlatma Kongresi, ATMK, 33-38, İstanbul, 18-19 Eylül 2019.
9. Bayram, G., Kazanasmaz, T., Simulation-based retrofitting of an educational building in terms of optimum shading device and energy efficient artificial lighting criteria, Light & Engineering; 45-55, 2016.[10] Souza, D., F., D., Silva, D., F., P., P., Fontenele, A., F., L., Barbosa, D., G., Jesus, O., D., M., Efficiency, quality, and environmental impacts: a comparative study of residential artificial lighting, Energy Reports; 409-424, 2019.

GÜNIŞIĞI İLE AYDINLATMADA FİBER OPTİK SİSTEMLERİN KULLANILMASI

Fazıla Duyan¹, Zeynep Keskin²

¹ Doğuş Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, faziladuyan@gmail.com

² Doğuş Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, zkeskin@dogus.edu.tr

Değişen yaşam koşulları, insanların daha fazla iç mekanlarda ve günışığı alamayan alanlarda zaman geçirmesine neden olmuştur. Büyük ve derin planlı yapılarda herkes günışığına sahip masalarda çalışma şansına sahip olamamakta, bunun yerine yapay ışık altında zamanlarını geçirmektedirler. Günışığı, görsel konforun sağlanması ve sirkadiyen ritmin güçlenmesi açısından bir ihtiyaç olup, aynı zamanda sıfır enerji ile bunu sağlamaktadır. Bu ihtiyaç doğrultusunda gelişen aydınlatma sistemleri iç mekan aydınlatma çözümlerinde teknoloji odaklı yaklaşımları da beraberinde getirmiş, bu çözümler günümüzde enerji verimliliği ve günışığının insan sağlığı üzerindeki olumlu etkileri nedeniyle yapay aydınlatmadan doğal aydınlatmaya doğru evrilmiştir. Son yıllarda aydınlatma tasarımlarında yaygın olarak kullanılmaya başlanan fiber optik teknolojisi ile günışığının birlikte kullanıldığı sistemler, fiber optik kablolarla günışığının bina içerisinde taşınarak istenilen noktaya yönlendirilebilmesine olanak sağlamaktadır. Fiber optik kablolar ile günışığının ulaşamadığı ya da yetersiz kaldığı mekânlarda istenilen aydınlık düzeyine ulaşılabilmekte ve böylelikle günışığı etkin olarak kullanılabilir. Bu sistemde, güneşin zararlı ışınları filtre edilebildiği için müze ve sergi salonları gibi hassas nesnelerin olduğu mekanlarda da rahatlıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, günışığı ile aydınlatma tasarımında esnek çözümler sunan ve yoğunlaştırılmış güneş ışınlarının fiber optik kablolar aracılığıyla taşınması ilkesine dayanan sistemlerin günümüzde kullanım alanlarını araştırmak ve değerlendirmektir.

Anahtar Kelimeler: Günışığı, Fiber Optik, İç Mekan Aydınlatması, Enerji Verimliliği

Applications of Fiber Optics in Daylighting

The changes in living conditions have led people to spend more time indoors in places with no direct natural light. Not everyone has the opportunity to work in a place that implements natural light in large deep-plan buildings, and this results in long-term exposure to artificial light. Daylight is essential for providing visual comfort and regulating circadian rhythm, and is a free renewable energy source. The development of lighting systems in response to these needs has been accompanied by a series of technology-based solutions for interior lighting. Given the positive impact of daylight on human health and energy efficiency concerns, these solutions, once proposed for artificial lighting, have now evolved into daylighting solutions. In recent years, advanced lighting systems combining daylight with fiber optic technology have been widely used in lighting design, and these systems enable the transmission of daylight from the source to the desired location for illumination. Fiber optic cables make it possible to redirect daylight into interior spaces with limited or no access to daylight, and thereby enabling efficient use of daylight. The system filters out the sun's harmful rays, and is therefore ideal for lighting delicate objects, such as in museums and galleries. The purpose of this paper is to review recent research on fiber optic daylighting systems that offer flexibility in lighting design by capturing and focusing high-intensity sunlight into fiber optics and transmitting captured light throughout the building.

Keywords: Daylight, Fiber Optic, Interior Lighting, Energy Efficiency

1. GİRİŞ

Dünyadaki enerji tüketiminin yaklaşık %20'si aydınlatma için harcanmaktadır. Bu oran değişmemekle birlikte hızla artan nüfus, yapılaşmanın artması, sanayinin, teknolojinin

gelişmesi harcanan enerjinin artışı da beraberinde getirmektedir. Artan enerji ihtiyacı, dolayısıyla fosil enerji kaynaklarının hızlı bir şekilde erimesi tüketimde ciddi bir pay sahibi aydınlatma sektörünü de alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinden etkin bir şekilde yararlanma ve enerji verimliliğinin sağlanması kapsamında binalarda günışığı kullanımına yönelik çözümlerin üretilmesi her geçen gün artarak önem kazanmıştır. Günışığının kullanımı, yapay aydınlatma gereksinimini ve buna bağlı olarak enerji tüketimini azaltmasının yanı sıra, insan sağlığı üzerinde fizyolojik ve psikolojik olumlu etkileri olduğu, çalışma mekanlarında verimliliği artırdığı ve görsel konfor koşullarının sağlanmasında önemli bir faktör olduğu ortaya konmuştur [1, 2].

Günümüzde insanlar, yüzyıl öncesine göre daha fazla iç mekanlarda yaşamaktadırlar [3]. Teknolojik gelişmeler ve hızlı kentleşme süreci ile birlikte kapalı mekanlar insanların zamanlarının büyük bir kısmını geçirdikleri yaşam alanları haline gelmiştir. Özellikle büyük ve derin planlı yapıların güneş almayan bölümlerinde çalışan ya da bir şekilde yaşamak zorunda kalan insanlar günışığından mahrum zamanlarını geçirmek zorunda kalmaktadırlar. Günışığının doğru ve etkin kullanımı; mekansal kalitenin artırılması, görsel konfor gereksinimlerinin karşılanması, kullanıcıların eylemlerini sağlıklı, etkin ve üretken bir biçimde yapabilmeleri açısından önem teşkil etmektedir [4]. Bununla birlikte, elektrik enerjisi tüketiminde önemli bir yer tutan aydınlatma giderlerinin azaltılması açısından da günışığının etkin kullanımı önemlidir. Günümüzde gelişen aydınlatma teknolojileri ile birlikte günışığının ulaşamadığı derin hacimlerde yeterli aydınlık düzeyi elde etmeye yönelik çözümler geliştirilmiş, günışığını toplayarak bina içerisine ileten ve yönlendiren günışığı sistemleri geliştirilmiştir [5, 6]. Günışığının binalarda etkin kullanılmasına olanak veren bu sistemlerden biri olan fiber optik günışığı sistemi, günışığının yeterli olmadığı veya hiç olmadığı mekanlara günışığının fiber optik kablolarla taşınarak istenen aydınlık düzeyinin sağlanmasını hedeflemektedir.

Teknolojik gelişiminin başlangıcı 1870 yılına kadar giden fiber optik sistemlerden, aydınlatmanın yanında iletişim, tıp ve endüstrinin birçok alanında yararlanılmaktadır. Yapay aydınlatma uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bu sistemler, ışık kaynağının giremediği dar alanlarda, nemli, soğuk bölgelerde, bakımı zor noktalarda, ışığın uzağa taşınmasında ya da tek ışık kaynağından çıkan ışık ile birden fazla farklı alanların aydınlatılmasında kullanılabilir [7, 8]. Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisinin Fiber Optiklerle Taşınması (YGEFOT) ilkesine dayanan projeler ise, ilk olarak 1980'lerde bir grup Fransız araştırmacı tarafından ortaya konulmuştur. Ancak bu denemeler, fiber optiklerin yüksek maliyeti, yüksek sayısal açıklık ve düşük zayıflatmaya sahip fiber optiklerin mevcut olmaması gibi nedenlerle kuramsal düzeyde kalmış, güç üretim endüstrisi gibi temel enerji tüketim uygulamalarına taşınamamıştır [9]. Günümüzde yüksek nitelikli fiber optik teknolojisinin varlığı ile güneş enerjisi, geniş öz (core) çapına ve büyük sayısal açıklığa sahip fiber optiklerle taşınabilmektedir.

Son yıllarda alternatif enerji kaynağı olarak yapay aydınlatmanın yanı sıra günışığı da kullanılmaktadır. Yoğunlaştırılmış günışığının fiber optik kablolarla taşınması ilkesine dayanan bu sistemler, günışığını fiber kablolar sayesinde uzak noktalara ulaştırabilir, bir veya birden çok noktaya dağıtılabilir ve yönlendirilebilir, dolayısıyla mekan içerisinde homojen günışığı dağılımı elde etmek mümkündür. Özellikle gün boyu sürekli kullanılan derin planlı binalarda günışığının yetersiz kaldığı alanlara ya da hiç günışığının girmediği mekanlara fiber optik kablolar yoluyla günışığı ulaştırılabilmektedir. Bu sistem sayesinde kapalı gök koşulları altında yeterli günışığı sağlanabildiği gibi, direkt güneş ışığının oluşturduğu kamaşmanın azaltılması ve düzgün bir aydınlatma sağlanması da mümkün olabilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, yeterince ya da hiç günışığı almayan mekanların, günışığı ile aydınlatılmasında, yenilenebilir bir enerji kaynağını olan güneş enerjisi ile fiber optik sistemlerin kullanımının araştırılması ve değerlendirilmesine yöneliktir. Yoğunlaştırılmış günışığı fiber optik aydınlatma sistemi, gün boyu güneş izleme yöntemiyle güneş ışığını yoğunlaştırarak toplayan paraboloidlerin, ışığı, fiber optik kablolar ile iç mekana taşınması yöntemine dayanmaktadır. Sistem, günışığının olmadığı kapalı gök koşullarında, iç mekandaki aydınlık düzeyinin yetersiz kaldığı durumlarda yapay aydınlatma ile desteklenerek bütünleşik aydınlatma ile desteklenebilmektedir.

2. FİBER OPTİK GÜNEŞ SİSTEMLERİ

Fiber optik günışığı sistemi, pasif ve hibrit sistem olmak üzere iki farklı şekilde tasarlanabilmektedir [10]. Pasif sistem, toplayıcı (kollektör), fiber optik kablo ve optik dağıtım elemanları (sonlandırıcılar) olmak üzere üç ana bileşenden oluşmaktadır (Tablo 1). Hibrit sistem ise pasif sistemden farklı olarak, günışığına bağlı bir kontrol sistemi içermekte ve günışığının yetersiz kaldığı durumlarda istenilen aydınlık düzeyine ulaşmak için yapay aydınlatma kaynakları ile desteklenerek bütünleşik bir aydınlatma sistemi sunmaktadır. Kontrol sistemi sayesinde, farklı atmosfer koşullarına bağlı olarak günışığının yeterli olduğu durumlarda dimmerleme yapılması veya yapay aydınlatma elemanlarının tamamen devre dışı bırakılması da mümkün olmaktadır. Böylelikle hem ihtiyaç duyulan aydınlık düzeyi sağlanabilmekte hem de enerji tüketimi azaltılabilmektedir.

2.1. Fiber Optik Günışığı Sistemlerinin Ana Bileşenleri

Fiber optik günışığı sistemleri, yapay fiber optik aydınlatma sistemlerinde olduğu gibi üç bileşenden oluşmaktadır. Işık kaynağı, fiber optik iletken kablo ve sonlandırıcı elemanlar olmak üzere üç bölümden oluşan bu sistemlerde yapay ışık kaynağının yerini güneş kollektörü ve günışığı almaktadır.

Tablo 1. Fiber optik günışığı sisteminin ana bileşenleri [11].

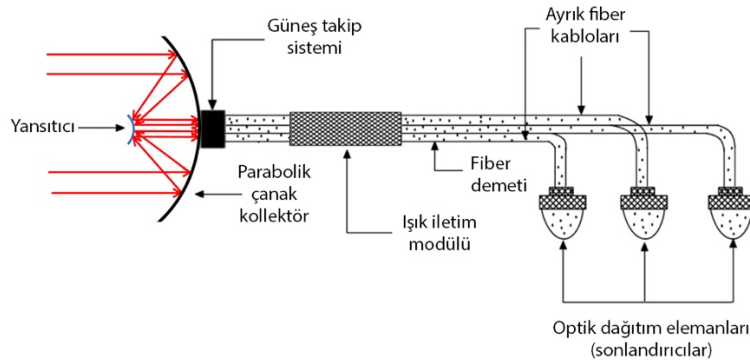
Ana Bileşenler	Tanım
	Toplayıcı (Kollektör) Güneş ışınlarını toplayıp tek bir merkezde yoğunlaştıran optik lenslerden oluşan dış ünitidir. Güneş takip sistemi sayesinde güneş ışınları dik bir açı ile alınarak güneşten alınan verim artırılmış olur.
	Fiber optik kablo Toplanan güneş ışınlarının yüksek yansıtıcı özelliğe sahip bir merkezi çekirdekte yansımalar dizisi halinde ilerlemesi prensibiyle çalışan ve bu sayede güneş ışınlarını bina içerisinde uzun mesafelere iletebilen, dış etkenlere karşı dayanıklı yapıda üretilen ince ve esnek kablolardır.
	Optik dağıtım elemanları (sonlandırıcılar) Fiber optik kablunun ucuna monte edilen ve fiber optik kablodan gelen güneş ışığının iç mekana dağıtılmasını sağlayan aydınlatma aygıtlarıdır.

Fiber optik günışığı sistemi bileşenlerinden toplayıcı (kollektör), genellikle güneşi görebilecek bir biçimde binaların çatısına veya açık bir alana monte edilir. Güneş takip sistemi vasıtasıyla güneşin doğuşundan batışına kadar güneşin hareketini izleyerek güneş ışınlarını toplar ve odak noktasına yoğunlaştırır. Güneş ışınları, ultraviyole (UV) ve yakın kızılötesi (IR) kısımlarını yansıtan bir filtre aracılığıyla kollektördeki her bir mercek tarafından bir optik fibere odaklanır [3]. Günümüzde yaygın olarak kullanılan düzeneklerden biri güneş ışığını tek bir merkezde yoğunlaştırıp bağlı bulunduğu fiber optik kablolarla ileten Fresnel lenslerin yer aldığı düzendir. Japonya’da 1970’lerin sonunda geliştirilen ve piyasaya sürülen Himawari sistemi ve İsveç merkezli Parans şirketi tarafından geliştirilen sistemler örnek olarak verilebilir. Himawari sisteminin ilk prototipi, yüzey profili altıgen formda olan bir dizi Fresnel lensin bir araya getirilmesiyle petek şeklinde oluşturulmuştur. Daha sonra küçük boyutlarda tasarlanmaya başlanmış, verimliliği artırmak için dairesel formda Fresnel lensler kullanılmış ve böylelikle sayıları azaltılabilmektedir. Türkçe karşılığı ayçiçeği olan Himawari sistemi, hava bulutlu veya kapalı olduğunda güneşin gökyüzündeki konumunu matematiksel olarak hesaplayarak olumsuz hava şartlarından etkilenmeden kesintisiz çalışabilir. Güneş battıktan sonra sistem kapanır ve bir sonraki gün doğumunda yeniden devreye girer [10]. Parans tarafından geliştirilen sistemler de Himawari sistemi ile benzer bir prensip ile çalışmaktadır. Bu sistemler, yüzey profili kare formda olan, hem güneşi takip etme hem de ışınları yoğunlaştırıp fiber optik kablolarla iletmeye özelliği bulunan bir dizi Fresnel lensin bir araya getirilmesiyle oluşturulmuştur [13, 10].



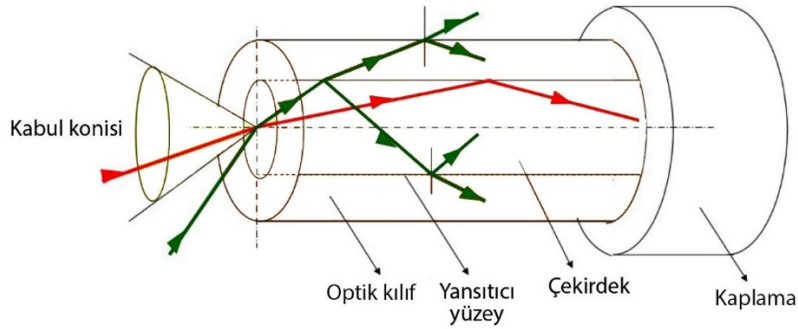
(a) (b)
Şekil 1. Himawari (a) ve Parans (b) güneş ışığı toplayıcı örnekleri [11,12]

Bir diğer düzenek ise yüksek yansıtıcılık özelliğine sahip parabolik bir toplayıcı yardımıyla güneş ışığının toplanması ve yoğunlaştırılması ile çalışmaktadır. “Parabolik çanak kollektör” olarak da bilinen bu sistemde güneş ışınları çanak şeklinde bir yüzey tarafından yansıtılarak odak noktasına yoğunlaştırılmaktadır. Şekil 2’de bu sistem kullanılarak tasarlanan bir fiber optik günışığı aydınlatma sistemi şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2. Parabolik çanak kollektör kullanılarak tasarlanan bir fiber optik günışığı aydınlatma sisteminin şematik gösterimi (Ullah, 2019’dan adapte edilmiştir) [21]

Fiber optik kablo, merkezde konumlanan ve ışığın içerisinde ilerlediği çekirdek, çekirdeği saran ve ışığın çekirdekten çıkmasını engelleyen yansıtıcı özelliğe sahip optik kılıf, ve kabloyu darbelere karşı koruma görevi gören, optik özelliği olmayan polimer veya plastikten yapılan kaplamadan meydana gelmektedir (Şekil 3). Çekirdek ve optik kılıf arasındaki yüzey ayna görevi görür ve ışığın yansımalar dizisi halinde çekirdek içerisinde ilerlemesini sağlar [14]. Işık bu yüzeyden tam yansıma yaparak ilerler ve istenilen noktaya en az kayıpla ulaşması sağlanmış olur. Yansıtıcı yüzeye ve ışığın aldığı yolun uzunluğuna bağlı olarak mekana iletilen gün ışığının performansı değişmektedir.



Şekil 3. Fiber optik kabloda ışığın yayılması

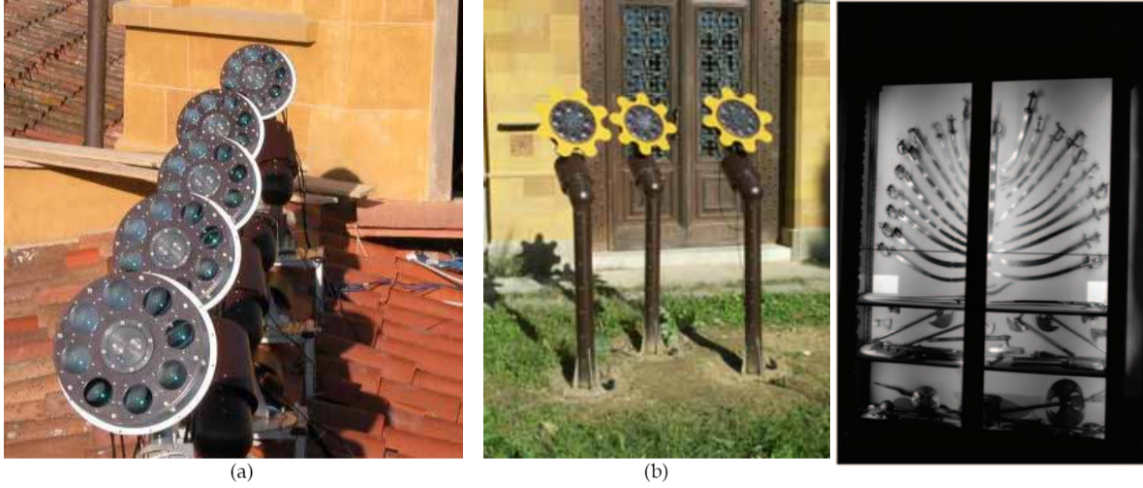
Fiber optik kabloya gelen ışının kablo içerisinde tam yansıma yapabilmesi ışının kabloya giriş açısına bağlıdır. Işının bu şekilde ilerleyebilmesi için giriş noktasında fiber optik kablonun eksenine ile yapacağı en büyük açı kabul açısı olarak tanımlanır [15]. Bu açıya eşit veya daha küçük bir açıyla giren ışın, fiber optik kablonun çekirdeğine tam yansıma sağlayacak şekilde ulaşır. Kabul açısından daha büyük bir açıyla gelen ışınlar ise çekirdeğe girdiklerinde tam yansıma şartını sağlayamayacaklarından radyasyonla kaybolurlar.

Fiber optik günışığı sisteminin üçüncü ve son bileşeni ise fiber optik kabloların uçlarına takılan optik dağıtım elemanlarıdır (sonlandırıcılar). Bu elemanlar sistemin görünen kısmı olup, çeşitli biçimlerde üretilebilmektedir. Geleneksel aydınlatma aygıtlarına göre daha küçük boyutta üretilen bu elemanlar, estetik görünüş sağlaması, ışığı yoğunlaştırılması/yönlendirilmesi ve fiber kablo uçlarını dış ortam şartlarından korunması gibi işlevlere sahiptir [16]. Optik dağıtım elemanları ile fiber optik kablodan gelen güneş ışığının iç mekana difüzör yardımı ile homojen bir şekilde dağıtılması sağlanabilir. Farklı gökyüzü koşulları ve değişken günışığının yarattığı iç mekandaki farklılaşan aydınlatma düzeyleri günışığı kontrol sistemleri ile düzenlenebilir [17].

2.2 Fiber Optik Günışığı Sistemlerinin Kullanım Alanları ve Uygulama Örnekleri

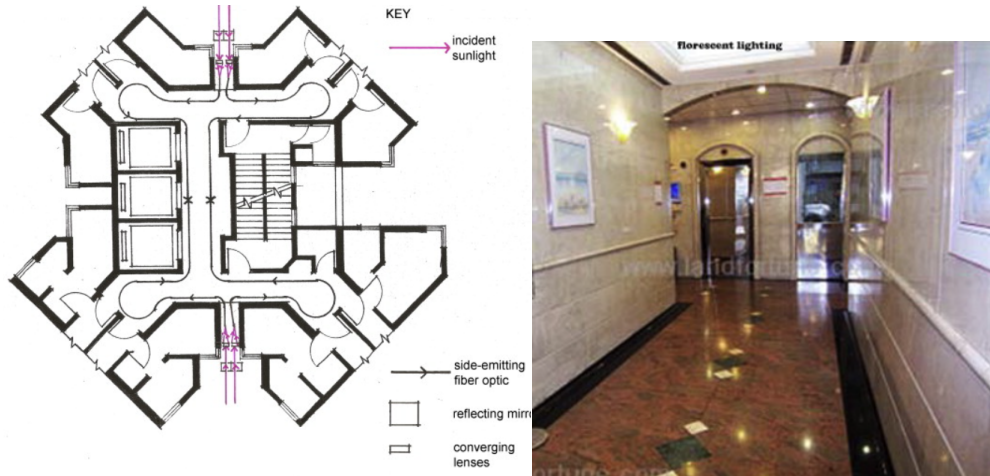
Ülkemizde yeni bir teknik olması, yüksek yatırım maliyeti gerektirmesi, sistemin kurulumu ve yönetilmesi konularında uzman kişi sayısının yetersiz olması gibi nedenlerle fiber optik günışığı sistemi henüz yaygın olarak kullanılmamaktadır. Ancak projelendirme safhasında hazırlanan prototipler ile sistemin performansının ölçülerek değerlendirildiği çalışmalar yapılmaktadır. Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde kurulan ve farklı gök koşullarında performansı test edilen fiber optik günışığı sistemi örnek olarak verilebilir [9]. Çalışmada iki eksenli güneş takip sistemi uygulanmış olup, ışığı yoğunlaştıran düşük maliyetli bir paraboloidal toplayıcı kullanılmıştır. Bu sistem sayesinde toplanan ışık fiber optik kablo demetine aktarılmış, daha sonra karanlık bir test mekanına iletilmiştir. Eş zamanlı ölçümler yapılarak elde edilen iç ve dış aydınlık düzeyleri, ışıyım miktarı ve aydınlatma verimleri belirlenmiştir.

İtalya, Floransa'daki Florentina müzesinde fiber optik sistemler ile bir uygulama gerçekleştirilmiştir (Şekil 4a, 4b). Güneş takip sisteminden dolayı "Ayçiçekleri" isimi verilmiş olan proje kapsamında yapılmış olan bu uygulama, günışığının renksel gerveriminin iyi olması (Ra:100), fiber kabloların ısıyı ve mor ötesi ışınları içeriye taşımamasından dolayı hem müzelerdeki hassas nesnelerin yıpranması önlenmekte hem de renksel açıdan sergilenen nesneler öz renginde algılanmaktadır [18]. Şekil 4(c)'de müzedeki vitrin aydınlatması görülmektedir.



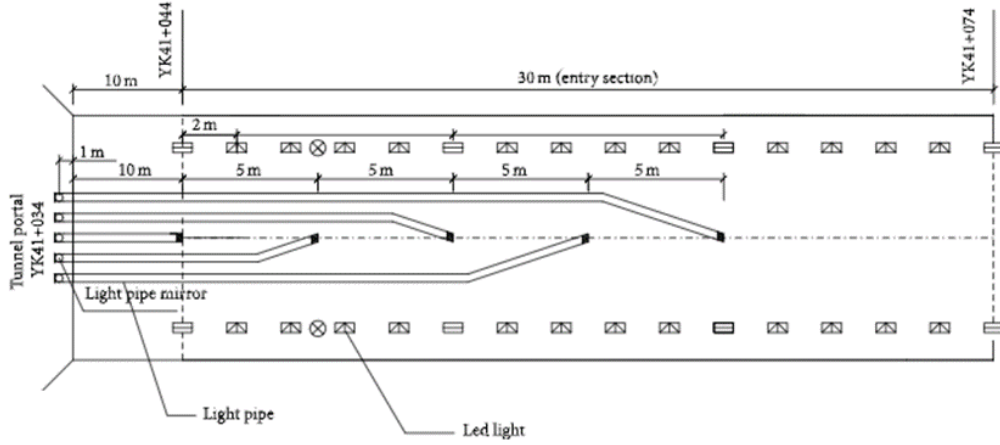
Şekil 4. (a) Müzenin çatısı, (b) müzenin bahçesine yerleştirilmiş kollektörler, (c) Fiber optik vitrin aydınlatması

Yoğun nüfusa sahip ve yüksek binaların bulunduğu Hong Hong'da çoğu binanın özellikle çekirdek lobileri doğal güneş ışığından yoksun olarak planlanmaktadır. Bu amaçla, 35 katlı bir apartmanın ışık almayan merdiven-asansör lobisi binanın çatısına konumlandırılmış güneş kollektörleri ve fiber kablolar aracılığıyla günışığı ile aydınlatılmıştır [19].

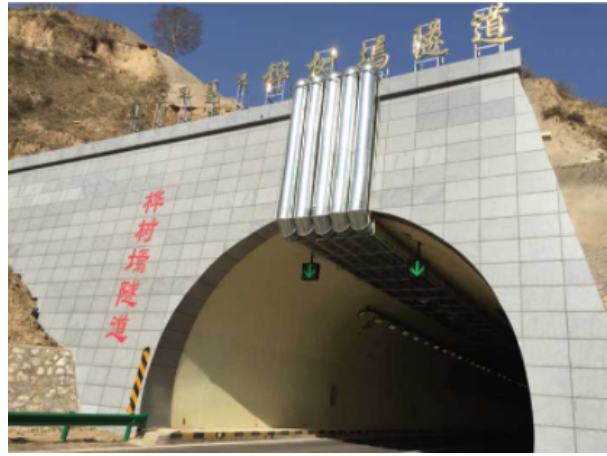


Şekil 5. Binanın planı ve görünüşü

Çin'in İç Moğolistan'daki Hohhot şehrindeki Huashuyan tünelinin aydınlatmasında fiber optik günışığı sistemi uygulanmıştır. Tünel aydınlatmasındaki özel fonksiyonel gereksinimler nedeniyle genel bina aydınlatmasındaki uygulamalar birebir tünel aydınlatılmasında kullanılamamaktadır. Bu nedenle, fonksiyonel olarak nadir uygulamalardandır.



Şekil 6. Huashuyan Tüneli güneşli fiber optik sistemi plan şeması



Şekil 7. Huashuyan Tüneli girişi, fiber optik sistem

Tünel giriş bölgesinde dış parlaklık değişimi ile ayarlanan fiber optik aydınlatma sistemi uygulaması, tünel aydınlatmasının güç tüketimini ve aydınlatma tesislerinin bakım maliyetini büyük ölçüde azaltması planlanmıştır [20]. Şekil 6 ve 7’de tünel girişinde fiber aydınlatma sistemi görülmektedir.

3. SONUÇ

Günümüzde enerji verimliliği konusunda duyarlılığın artmasıyla birlikte binalarda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik uygulamalar yaygınlaşmaktadır. Bazı gelişmiş ülkelerde sürdürülebilirlik ve enerji korunum yasası çerçevesinde, yeni yapılacak binalarda, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanarak kendi enerjisini sağlayabilen “sıfır enerji” yasası prensibi ile binaların inşa edilmesi teşvik edilmekte hatta özel durumlarda zorunlu tutulmaktadır. Bu bağlamda, fiber optik güneşli sistemleri, aydınlatma enerjisi gereksinimlerini azaltarak enerji verimliliğine önemli düzeyde katkı sağlama potansiyeline sahiptir. Bununla birlikte, güneşliye bağlı kontrol sistemlerinin kullanıldığı, güneşli ve yapay aydınlatma arasında entegrasyon sağlamayı amaçlayan hibrit sistemler önem kazanmıştır. Hibrit sistemler, bir kontrol mekanizması ile farklı güneşli düzeylerinde ya da güneş battığında devreye girmekte ve yapay ışık ile aydınlatma sağlanmaktadır.

Yoğunlaştırılmış güneşli fiber optik sistemlerin fazla yaygınlaşmamasının nedeni ilk kurulum maliyetinin çok pahalı olmasıdır. Bu nedenle, bu sistem hem enerji verimliliğine katkısı hem

de g n     n insan üzerindeki görsel ve psikolojik olumlu etkilerinden dolayı faydalı olmasına karşın yaygın olarak kullanılmamaktadır. Şüphesiz, yaygınlaşması ve sistemin ticari sürümünün artması maliyetleri de d   erecektir. Maliyetler d  t    zaman sistemin kullanımı da yaygınla acak, hem görsel hem de enerji tasarrufu açısından daha iyi aydınlanmış iç mekânlarda yaşam kalitesi artacaktır. Fiber optik sistemler ile iç mekânda g n      kullanımı, ofis, konut lobisi gibi binaların yanında müze ve tünel gibi özel i levli yapıların aydınlatılmasında da kullanılmaktadır. Aydınlatmanın verimliliğinde bölgenin gökyüzü koşulları, çevresel engeller gibi faktörler de rol oynamaktadır.

Günümüzde fiber optik aydınlatma sistemlerinde yapay     n kullanımı daha yaygın olup g n     n      kaynağı olarak bu sistemlerde kullanılması hem maliyet hem de uygulama açısından biraz daha zorluk getirmektedir. Fosil yakıtların tükenmekte olması ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim, aydınlatmada fiber optik sistemler ile g n      girmeyen bölgelerde YGEFOT kullanımının potansiyeli umut verici geli melere gebedir.

KAYNAKÇA

1. Heschong, L., Daylighting and human performance, ASHRAE Journal, 44(6), 65–6
2. Rangi, K., Osterhaus, W., Windowless environments: Are they affecting our health? In: Proceedings of LIGHTING '99 - Then, Now & Beyond, 44th Annual Convention of the Illuminating Engineering Society of Australia and New Zealand (IESANZ), 4(9), 1-13, Adelaide, Australia, October 18-19, 1999.
3. Mohapatra, B. N., K.Mohapatra, R., Kumar, R. V. (2014). A review of solar fiber optic lighting systems, Conference: International Conference and Workshop on Electronics & Telecommunication Engineering 2014, TCET, Mumbai, India
4. Arpacio lu,  ., mek nsal kalite ve konfor için önemli bir faktör: g n     , Mimarlık Dergisi; 368, 48-52, 2012.
5. Moore, F., Concepts And Practice of Architectural Daylighting, Van Nostrand Reinhold Company, ISBN 978-0-442-00679-0, New York, 1991.
6. Yener, A. K., Binalarda G n     ndan Yararlanma Yöntemleri:  a da  Teknikler, VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, 231-241, Ankara, 25-28 Ekim 2007.
7.  erefhan  lu, M., Bostancı, T., Aydınlatmada fiber optik kullanımı, III. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, 162-167,  stanbul, 23–24 Kasım 2000.
8. Dursun, B., Ulusoy, I., Fotovoltaik ve fiber optik sistemlerin aydınlatma sistemlerinde kullanılması, III. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, 255, Ankara, 23-25 Kasım 2005.
9. Kandilli, C., Türkoğlu, A.,  lgen, K., G n      aydınlatma sisteminin tanıtımı ve performansının değerlendirilmesi, IV. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, 44-53,  zmir, 13-15 Aralık 2007.
10. Werring, C., Design and application of fiber optic daylighting systems, Kansas State University, Department of Architectural Engineering and Construction Science, Manhattan, <http://hdl.handle.net/2097/1473>, 2009, 27.05.2021
11. Parans Solar Lighting AB. <https://www.parans.com>
12. Himawari. Features & Mechanism. https://www.himawari-net.co.jp/e_page-index01.html

13. Mayhoub, M., Carter, D., Decision making in selecting the best matching hybrid lighting system, PLEA 2011-27th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Louvain-la-Neuve, Belgium, 13-15 July 2011.
14. Knisley, J., Fiber Optic Lighting Dries Out. ecmweb.com/mag/electric_fiber_optic_lighting, 2002, 26.05.2021
15. Hecht, J., Understanding Fiber Optics – 3rd edition, Prentice Hall, ISBN 978-0-139-56145-0, Upper Saddle River, New Jersey, Columbus, Ohio, 1999.
16. Özdamar, O., Büyük Çaplı Fiber Optik Kabloların Ekstrüzyon Yöntemi İle Üretim Teknolojilerinin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2011
17. Al-Obaidia, K. M., Munaaim, M. A. C., Ismail, M.A., Rahman, A. M. A., Designing an integrated daylighting system for deep-plan spaces in Malaysian low-rise buildings, Solar Energy, Vol. 149, June 2017, Pages 85-101, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.04.001>
18. Sansoni, P., Fontani, D., Francini, F., Feruzzi, D., Internal Lighting by Solar Collectors and Optical Fibres, Solar Collectors and Panels, Theory and Applications, October 2010, DOI: 10.5772/10329
19. Wong, I., Yang, H. X., Cost study on remote source solar lighting system in high-rise residential buildings in Hong Kong, Building and Environment, Vol. 67, pp. 231-239, September 2013.
20. Qin, X., Zhang, X., Qi, S., Han, H. Design of Solar Optical Fiber Lighting System for Enhanced Lighting in Highway Tunnel Threshold Zone: A Case Study of Huashuyan Tunnel in China, International Journal of Photoenergy, Volume 2015, <https://doi.org/10.1155/2015/471364>
21. Ullah, I., Heliostats Daylighting System for Multi-floor Buildings, Journal of Daylighting, 6, 202-209, 2019.

TARİHİ YAPILARIN ONARIMINDA KULLANILACAK HARÇ RENKLERİNİN ZAMAN İÇİNDEKİ DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

Dilek Ekşi Akbulut¹, Esra Küçükılıç Özcan², Rengin Ünver³

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, dileksi@yahoo.com,

² Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü esrakucukilic@gmail.com,

³ Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, renginunver@gmail.com

Tarihi yapıların korunmasına yönelik çalışmalarda yapının tarihi değeri, mimarisi, estetiği ve kimliği göz önüne alınarak, yapım sistemi ve özgün malzemelere en az müdahale yapılmalıdır. Kullanılması zorunlu olan onarım malzemeleri, özgün malzeme özelliklerine uygun seçilmelidir. Bunun için, onarım malzemesinin dayanımına yönelik mekanik özelliklerinin yanı sıra renksel özelliklerinin uygunluğu sağlanmalı ve zaman içindeki değişimler göz önüne alınmalıdır. Bu bildiride, tarihi yapıların korunmasına yönelik onarım ve restorasyon çalışmalarında kullanılabilecek özgün malzemelerle uyumlu onarım malzemelerinin renksel özelliklerinin zaman içindeki değişimlerinin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilen deneysel çalışmanın sonuçları sunulmuştur. Araştırmada, öncelikle tarihi yapıların onarımlarında kullanılabilecek harç çeşitlerine ilişkin örnekler oluşturulmuş, örnekler 1 yıl süre ile iç ve dış ortam olmak üzere iki farklı koşulda tutulmuş ve farklı zamanlarda renk ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler sonucunda yapılan hesaplamalar ve değerlendirmeler ile elde edilen sonuçlar, tarihi yapıların korunması amacıyla yapılan işlemlerde kullanılan harçların renksel özellikleri konusunda veri tabanı oluşturarak, onarım ve restorasyona yönelik malzeme seçimi konusunda yol gösterici olacaktır.

Anahtar kelimeler: Tarihi Yapı Onarımı, Harç Renkleri, Renk Ayrımı, Harç Renklerinin Değişimi

Examination of the Mortar Colour Changes over time used in Repair of Historic Buildings

Considering the historical value, architecture, aesthetics and identity of the historical buildings, the construction system and original materials should be interfered with at least. Repair materials should be selected in accordance with the original material properties. For this, in addition to the mechanical properties for the strength of the repair material, the suitability of its colour properties should be ensured and changes over time should be considered. In this paper, the results of the experimental study carried out to examine the changes in the colour properties of repair materials compatible with original materials that can be used in repair and restoration works for the protection of historical buildings over time are presented. In the research, firstly, samples of mortar types that can be used in the repairs of historical buildings were created, the samples were kept for 1 year in two different conditions, indoor and outdoor, and color measurements were made at different times. The results of the study will guide the selection of materials for repair and restoration by creating a database on the colour properties of the mortars used in the processes for the preservation of historical buildings.

Keywords: Historical Building Repair, Mortar Colours, Colour Difference, Change of Mortar Colours

1. GİRİŞ

Taşınır-taşınmaz kültür ve tabiat varlıklarının muhafaza, bakım, onarım, restorasyon, fonksiyon değiştirme işlemleri kısaca "koruma" ve "korunma" olarak adlandırılır. Kültür varlıklarının koruma ve korunma işlemlerindeki en önemli sorunlardan biri yapılan müdahalenin niteliğidir. Taşınmaz kültür varlıklarından olan "tarihi yapıların" korunmasına yönelik olarak yapılacak çalışmalar bakım, onarım ve güçlendirme olarak gruplandırılabilir. Tarihi yapıların onarım ve

güçlendirme işlemlerinde, yapının tarihi ve estetik görünümünün nasıl ve hangi ölçekte korunması gerektiği, yapısal hasarların giderilmesinde uygulanacak yöntemlerin seçimi vb. konular, yapının mevcut durumu ve malzeme özellikleri ile doğrudan bağlantılıdır. Bu nedenle, önce özgün malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmeli, ardından bu özelliklere uygun onarım malzemeleri seçilmelidir [1].

Bu konudaki Venedik Tüzüğü'nün 9. maddesinde onarımın uzmanlık gerektiren bir iş olduğu, amacının yapının estetik ve tarihi değerini korumak olduğu, bunun için özgün malzemeye ve güvenilir belgelere saygıyla bağlı kalınması gerektiği belirtilmiştir [2]. Yeni onarım malzemelerinin mekanik özelliklerin yanı sıra renksel özelliklerinin uygunluğu da büyük önem taşır. Onarımda kullanılan yeni harç malzemesinin rengi zamanla, içinde bulunduğu ortam koşullarının etkisi ile özgün malzeme renginden sapabilir. Onarım çalışmaları açısından, genelde yeni malzemenin nasıl bir renksel değişime uğrayacağı ve özgün malzeme renginden ne oranda sapacağından önceden bilinmesi oldukça zordur. Bu nedenle, onarımlarda mevcut ve yeni malzemelerinin renksel özellikleri genelde göz ardı edilmektedir.

Bu bildiride, tarihi yapıların onarımında kullanılan malzemelerden biri olan harçların, yapı içindeki kapalı ortamlarda ve yapı dışındaki ortamlarda kullanılması durumunda, zaman içinde ortaya çıkan renksel değişimlerin belirlenmesine yönelik gerçekleştirilen bir çalışmanın sonuçları sunulmaktadır. Çalışmada “Tarihi Yapıların Onarımında Kullanılacak Harçların Seçimine Yönelik Bir Öneri” adlı doktora çalışması kapsamında yapılan deneysel araştırma ve araştırmadan elde edilen verilerden yararlanılmıştır [3].

2. YÖNTEM

Yapılarda, tuğla veya taşların örgüsünü sağlamlaştırmak, duvarları sıvamak için kullanılan, toprak, saman, kum, kireç, çimento vb. şeyleri su ile kararak yapılan karışım harç olarak adlandırılmaktadır [4]. Çimentonun bulunmasına kadar geçen zamanda yapıların inşasında kireç harç ve sıvaları kullanılmıştır [5]. Harçlar tarihi yapıların onarımında, tarihi yapıların korunmasına yönelik çeşitli çalışmalarda malzeme seçimi bakımından belirleyici rol oynar. Onarım harçlarının renklerinin zaman içindeki renksel değişiminin önceden belirlenmesini hedefleyen bu deneysel araştırmada,

- Tarihi yapıların onarım ve güçlendirme çalışmalarında, iç ve dış ortamlarda kullanılabilecek harç tiplerinin belirlenmesi, belirlenen harç tiplerinin numunelerinin üretilmesi ve 1 yıl süre ile iç ve dış ortam olmak üzere iki farklı fiziksel koşula maruz bırakılması
- İç ve dış ortamdaki harç numunelerin 28.günde ve 1 yıl sonunda fiziksel, mekanik deneylerinin ve renk ölçümlerinin yapılması
- Fiziksel ve mekanik test deneylerinden olumlu sonuç alınan harç numunelerinin belirlenmesi,
- Olumlu sonuç alınan harç numunelerinin 28. gün ve 1 yıl sonundaki renk değişimlerinin hesaplanması,
- Renk değişimi açısından kabul edilebilir sınırlar içinde kalan harç numunelerinin belirlenmesi

adımlarını içeren bir yöntem kurgulanmıştır.

2.1. Tarihi Yapıların Onarım ve Güçlendirmesinde Kullanılabilecek Harç Tiplerinin Belirlenmesi, Harç Numunelerinin Üretilmesi ve Farklı Fiziksel Koşullara Maruz Bırakılması

Harç ve sıvaların mukavemeti içerdikleri dolgu maddelerinin boyutları, miktarı ve kalitesiyle değişim gösterir. Dolayısıyla en uygun ve iyi harcı oluşturmak yapının genel mukavemeti açısından çok önemlidir [5]. Tarihi kâgir yapılardaki harç üretiminde, genelde agrega olarak doğal kum veya tuğla kırığı, bağlayıcı olarak kireç, puzolan malzeme olarak silis dumanı, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, tuğla tozu ve benzerleri kullanılmaktadır [6]. Harca katılan puzolan malzemeler, harcın mekanik özellikleri ve dayanıklılığının yanı sıra fiziksel özelliklerinden biri olan rengi de değiştirmektedir. Örneğin; yapılan araştırmalarda, Bizans harçlarında, harcın içerdiği malzemelere bağlı olarak griden pembeye kadar farklı renk çeşitliliği gözlenmiştir. Vitruvius'un da belirttiği gibi Roma döneminde de harca pembemsi rengi veren tuğla kırığı ve tuğla tozu kullanılmıştır [7]. Osmanlı mimarisinde de harca üretiminde tuğla kırığı ve tuğla tozu katılması ile harcın rengi değiştirilmiş, kullanılan tuğla ve tuğla tozunun puzolanik özelliği nedeni ile de kireç harcının dayanımı ve dayanıklılığı artırılmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda deneysel çalışma için üretilen harç örneklerinde, en büyük dane büyüklüğü 2 mm olan silis esaslı standart kum (S) ve en büyük dane büyüklüğü 8 mm olan tuğla kırığı agregası (B) olmak üzere 2 cins agrega, bağlayıcı olarak kireç ve silis dumanı (SF), uçucu kül (FA), yüksek fırın cürufu (BF), tuğla tozu (BP) olarak 4 cins puzolan ile %0,1 oranında polimer lifler kullanılmıştır. Kum ve tuğla kırığı agrega için lifli ve lifsiz olmak üzere farklı özelliklerde toplam 20 grup harç tipi/karışımı üretilmiştir (Çizelge 1).

Tablo 1. Harç numunesi kodları

HARÇ		Kodu	Agrega	Bağlayıcı	Puzolan katkı	Lif	Su
SİLİS ESASLI KUM	LİFSİZ	SC	Kum	Kireç	-	-	Su
		SSF	Kum	Kireç	Silis Dumanı	-	Su
		SFA	Kum	Kireç	Uçucu Kül	-	Su
		SBF	Kum	Kireç	Yüksek Fırın Cürufu	-	Su
		SBP	Kum	Kireç	Tuğla Tozu	-	Su
	LİFLİ	SCf	Kum	Kireç	-	Polimer lif	Su
		SSFf	Kum	Kireç	Silis Dumanı	Polimer lif	Su
		SFAf	Kum	Kireç	Uçucu Kül	Polimer lif	Su
		SBFf	Kum	Kireç	Yüksek Fırın Cürufu	Polimer lif	Su
		SBPf	Kum	Kireç	Tuğla Tozu	Polimer lif	Su
TUĞLA KIRIĞI AGREGA	LİFSİZ	BC	Tuğla Kırığı	Kireç	-	-	Su
		BSF	Tuğla Kırığı	Kireç	Silis Dumanı	-	Su
		BFA	Tuğla Kırığı	Kireç	Uçucu Kül	-	Su
		BBF	Tuğla Kırığı	Kireç	Yüksek Fırın Cürufu	-	Su
		BBP	Tuğla Kırığı	Kireç	Tuğla Tozu	-	Su
	LİFLİ	BCf	Tuğla Kırığı	Kireç	-	Polimer lif	Su
		BSFf	Tuğla Kırığı	Kireç	Silis Dumanı	Polimer lif	Su
		BFAf	Tuğla Kırığı	Kireç	Uçucu Kül	Polimer lif	Su
		BBFf	Tuğla Kırığı	Kireç	Yüksek Fırın Cürufu	Polimer lif	Su
		BBPf	Tuğla Kırığı	Kireç	Tuğla Tozu	Polimer lif	Su

Harç tiplerini/karışımlarını örnekleyen numuneler, TS EN 196-1 Çimento deney metotları- Bölüm 1: Dayanım tayini” standardına uygun olarak 40x40x160 mm boyutlarında üretilmiştir [8]. Laboratuvar ortamında hazırlanan 20 grup harç tipi karışımından üretilmiş numunelerinin taze harç durumundaki, yani ilk 48 saat boyunca kalıp içindeki yayılma ve birim ağırlık özellikleri saptanmıştır. Üretilen harçlar 28. güne kadar laboratuvar ortamında bırakılmış, 28. gün başlangıç kabul edilerek 365 gün (1 yıl) boyunca kalıcılık deneyleri için numuneler iki farklı ortama yerleştirilmiştir. Birinci grup şahit olması amacıyla 20±2°C, bağıl nemi %60±5

olan rüzgârsız yapay iç ortamda (laboratuvar) bırakılmış, ikinci grup ise laboratuvar ve doğal iklim koşullarının etkilerinin izlenmesi için Türkiye, İstanbul, Beşiktaş, YTÜ Merkez Yerleşkesi'nde atmosfer (dış) ortam koşullarına bırakılmış, bu numunelerin her hafta boy, ağırlık ve renk ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

2.2. Harç Numunelerinin Fiziksel-Mekanik Deneylerinin ve Renk Ölçümlerinin Yapılması

Tüm harç numunelerinin eğilme, basınç, kılcal su emme ve hacimce su emme gibi fiziksel-mekanik deneyleri ve renk ölçümleri üretildikten itibaren 7. günde, 28. günde ve 28. gün başlangıç kabul edilerek 1 yılın sonunda yapılmıştır. Renk ölçümleri EN 15886- Conservation of cultural property. Test methods. Colour measurement of surfaces standardına uygun olarak Konica Minolta CM 2500-d model spektrofotometre ile Munsell Renk Dizgesi'ne göre 10 derecelik renk görme açısıyla, D65 ölçün ışığı altında gerçekleştirilmiştir. Üç farklı tarihte ölçülen harç numunelerinin Munsell Renk Simgelerine ilişkin örneklemeler silis esaslı kum agregalı harç (SBFf) için Çizelge 2'de, tuğla agregalı harç (BFAf) için Çizelge 3'te verilmiştir.

Tablo 2. Silis esaslı kum agregalı (SBFf) harç numunesinin, değişik zamanlardaki Munsell Renk Dizgesi simgeleri

Munsell Renk Dizgesi Bileşenleri			
Ölçme günü/ortam	TÜR (H)	DEĞER (V)	DOYMUŞLUK (C)
7. gün /iç ortam-laboratuvar	21,1	8,1	1,5
28. gün /iç ortam-laboratuvar	21	8,3	1,4
1. yıl */iç ortam-laboratuvar	21,2	8,5	1,2
1. yıl* /dış ortam-Beşiktaş*	20,9	7,8	1,3
* 28. gün başlangıç kabul edilerek 1 yıl sonunda			

Tablo 3. Tuğla agregalı (BFAf) harç numunesinin, değişik zamanlardaki Munsell Renk Dizgesi simgeleri

Munsell Renk Dizgesi Bileşenleri			
Ölçme günü/ortam	TÜR (H)	DEĞER (V)	DOYMUŞLUK (C)
7. gün /iç ortam-laboratuvar	17,31	7,31	1,16
28. gün /iç ortam-laboratuvar	17,11	7,33	1,16
1. yıl */iç ortam-laboratuvar	7,54	7,44	1,06
1. yıl* /dış ortam-Beşiktaş*	8,21	5,18	1,68
* 28. gün başlangıç kabul edilerek 1 yıl			

2.3. Harç Numunelerinin Fiziksel-Mekanik Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Deneylerden Olumlu Sonuç Alanların Belirlenmesi

Tarihi yapıların onarımı ve güçlendirilmesi çalışmalarında kullanılacak 2 farklı agrega ile üretilen kireç harçlarına 4 farklı puzolan ve polipropilen lifin etkisinin araştırıldığı fiziksel ve mekanik deneylerin yapılması ile elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Deney sonuçlarının değerlendirilebilmesi, üretilen harçların karşılaştırılabilmesi ve harç seçimi yapılabilmesi için değer analizi çalışması gerçekleştirilmiştir. Değer analizi çalışmasında, her bir harcın kontrol deneylerinde belirlenen eğilme, basınç, kılcal su emme ve hacimce su emme gibi özelliklerine laboratuvar ve atmosfer ortamlarının etkisi belirlenmiş, bu koşullara uyan harç karışımlarının seçimi için öneri geliştirilmiştir. Laboratuvar ve atmosfer koşulları için bir yılın sonunda yapılan kontrol deneylerinden elde edilen sonuçlar 28. gündeki başlangıç değerine oranlanmış, değişim oranı (%) belirlenmiştir. Özelliklerdeki olumlu değişimler artış (+) olumsuz değişimler eksi (-), değişim olmamış ise sıfır (0) ile ifade edilmiştir. Kum agrega ve tuğla kırığı agrega ile

üretilen 20 seri harcın laboratuvar ve atmosfer koşullarında bir yıl sonunda yapılan kontrol deneylerinin (fiziksel ve mekanik) sonuçları değer analizi ile her bir harç, her süreç için ayrı ayrı bir tam sayı ile ifade edilmiş, sıfır (0) ya da eksi (-) değer alan harçlar elenmiş, değerlendirme sürecine alınmamıştır. Değer analizi sonucunda, üretilen 20 seri harç için kabul edilen iklim koşullarına göre “çok iyi, iyi, az iyi ve orta” değer aralıkları önerilmiştir (Çizelge 4).

Tablo 4. Fiziksel-mekanik deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Ortam	Kabul Edilen İklim Koşulları	Harç Grubu	Harç Öneri sınıfı			
			Çok İyi	İyi	Az İyi	Orta
Dış ortam	İstanbul Beşiktaş Bölgesi	Kum Grubu	SBff	SFA	SBP	SSF, SBF, SCf, SSff, SFaf, SBPf
		Tuğla Grubu		BFAf, BBff	BBF	BC, BSF, BFA, BBP, BCf, BSff, BBPf
İç ortam	Laboratuvar Sıcaklık: 20±2°C Bağlı nem:%60±5, Rüzgâr hızı: 0	Kum Grubu	SBff	SC, SFA,	SBF, SBP, SCf, SSff,	SSF, SFaf, SBPf,
		Tuğla Grubu		BFA, BBF, BFAf	BC, BCf	BSF, BBP, BSff, BBPf, BBPf

2.4. Harç Numunelerinin Renk Değişimlerinin Hesaplanması ve Değerlendirilmesi

Renk değişimlerinin belirlenmesi için çalışma kapsamında gerçekleştirilen fiziksel-mekanik (dayanım) deneylerden elde edilen sonuçlara göre iç ortam (laboratuvar) ve dış ortam (İstanbul, Beşiktaş bölgesi) için önerilen, Çizelge 2’de kodları verilen 20 adet harç numunesi ele alınmıştır. Bu numunelerinin renk değişimleri “TS EN 15886 – Kültürel Varlıkların Korunması – Deney Metotları – Yüzeylerin Renk Ölçümü” başlıklı standartta önerilen hesap yöntemi ve eşitlikler aracılığı ile belirlenmiştir [9]. Söz konusu renk ayrımlarının (ΔE^*_{94}) hesaplanmasında kullanılan eşitlikler (1-11) aşağıda verilmiştir.

$$\Delta E^*_{94} = \left[\left(\frac{\Delta L^*}{k_L S_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*_{2,1}}{k_C S_C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*_{2,1}}{k_H S_H} \right)^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots(1)$$

Burada,

$$\Delta L^* = L^*_2 - L^*_1 \dots\dots\dots(2)$$

$$\Delta C^*_{2,1} = C^*_2 - C^*_1; \dots\dots\dots(3)$$

$$C^*_1 = (a_1^{*2} + b_1^{*2})^{1/2}; \dots\dots\dots(4)$$

$$C^*_2 = (a_2^{*2} + b_2^{*2})^{1/2}; \dots\dots\dots(5)$$

$$\Delta H^*_{2,1} = [((\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*_{2,1})^2)^{1/2}] \dots\dots\dots(6)$$

$$S_L = 1; \dots\dots\dots(7)$$

$$S_C = 1 + 0,045 C^*_{1,2}; \dots\dots\dots(8)$$

$$S_H = 1 + 0,015 C^*_{1,2}; \dots\dots\dots(9)$$

$$C^*_{1,2} = (C^*_1 \cdot C^*_2)^{1/2}; \dots\dots\dots(10)$$

$$k_L = k_C = k_H = 1; \dots\dots\dots(11)$$

Burada, S_L : açıklık-koyuluk (değer) için ağırlık faktörü, S_C : doymuşluk için ağırlık faktörü, S_H : tür için ağırlık faktörü olarak gösterilmiştir.

Standartta verilen eşitliklerde renk ayrımları (ΔE^*_{94}) CIE Lab Renk Sisteminin dönüşümünden oluşan CIE Lch sistemine göre hesaplanmaktadır. Bu nedenle harç numunelerinin Munsell Renk Dizgesine göre gerçekleştirilen renk ölçümleri Munsell Conversion Software (CMC18f) programı aracılığıyla CIE Lab sistemine çevrilmiştir. Çalışmada numunelerin 28. günde ölçülen renkleri ilk renk, 28. günden itibaren bir yılın sonunda ölçülen renkleri ise son renk kabul

edilmiş ve iki durum arasındaki renk ayrımları yukarıdaki eşitliklere göre hesaplanmıştır. İç ve dış ortam koşulları için numunelerin ilk renk (Lab₁), son renk (Lab₂) ve iki renk arasındaki ayrımları (ΔE^*_{94}) Çizelge 5 ve 6'da verilmiştir.

Tablo 5. Kum grubu harçların dış ortam ve iç ortam koşullarındaki renk ayrımları (Çizelgede koyu yazıyla ifade edilen harçlar uygulama açısından kabul edilebilir olarak değerlendirilmiştir)

KUM GRUBU		İlk Renk (28. gün)						Son Renk (1 yıl sonra)						Renk Ayrımı
Harç Kodu		L ₁	a ₁	b ₁	H ₁	V ₁	C ₁	L ₂	a ₂	b ₂	H ₂	V ₂	C ₂	ΔE^*_{94}
DİŞ ORTAM	SBFf	83,44	0,81	9,99	21,0	8,3	1,4	78,62	1,43	8,67	20,9	7,8	1,3	4,94451
	SFA	73,78	0,61	5,54	21,9	7,3	0,8	69,9	0,35	6,42	22	6,9	0,9	3,94983
	SBP	72,80	7,87	9,21	12,0	7,2	2,4	59,06	10,23	13,02	13,4	5,8	3,0	14,0137
	SSF	69,90	0,22	4,3	22,1	6,9	0,6	68,92	0,24	4,3	22,3	6,8	0,6	0,98018
	SBF	84,40	1,19	8,26	20,9	8,4	1,2	77,66	0,96	9,74	21,0	7,7	1,4	6,82683
	SCf	89,22	0,63	5,01	20,6	8,9	0,7	73,79	1,82	9,9	20,9	7,3	1,5	15,8947
	SSFf	66,97	0,21	3,58	22,2	6,6	0,5	77,65	0,62	6,29	21,7	7,7	0,9	10,9162
	SFAf	76,68	0,14	4,39	22,3	7,6	0,6	69,9	0,77	6,17	21,7	6,9	0,9	6,95362
	SBPf	73,77	8,84	9,2	11,7	7,3	2,6	53,03	11,76	12,86	12,4	5,2	3,2	20,9294
	SC	87,29	0,85	6,34	20,4	8,7	0,9	84,4	0,68	8,62	21,3	8,4	1,2	3,36562
İÇ ORTAM	SBFf	83,44	0,81	9,99	21,0	8,3	1,4	85,37	0,66	8,68	21,2	8,5	1,2	2,1418
	SFA	73,78	0,61	5,54	21,9	7,3	0,8	74,75	0,2	5,08	22,6	7,4	0,7	1,10317
	SBP	72,80	7,87	9,21	12,0	7,2	2,4	74,74	7,19	7,48	11,4	7,4	2,2	2,3271
	SSF	69,90	0,22	4,3	22,1	6,9	0,6	71,84	0,16	3,61	22,4	7,1	0,5	2,02724
	SBF	84,40	1,19	8,26	20,9	8,4	1,2	84,4	0,62	7,91	21,2	8,4	1,1	0,55829
	SCf	89,22	0,63	5,01	20,6	8,9	0,7	89,22	0,33	5,22	21,3	8,9	0,7	0,3301
	SSFf	66,97	0,21	3,58	22,2	6,6	0,5	81,5	0,09	4,45	22,3	8,1	0,6	14,5492
	SFAf	76,68	0,14	4,39	22,3	7,6	0,6	76,68	0,14	4,39	22,5	7,6	0,6	0
	SBPf	73,77	8,84	9,2	11,7	7,3	2,6	74,74	7,99	8,32	11,7	7,4	2,4	1,2519
	SC	87,29	0,85	6,34	20,4	8,7	0,9	89,23	0,72	5,72	20,9	8,9	0,8	2,00291

Tablo 6. Tuğla grubu harçların dış ortam ve iç ortam koşullarındaki renk ayrımları (Çizelgede koyu yazıyla ifade edilen harçlar uygulama açısından kabul edilebilir olarak değerlendirilmiştir)

TUĞLA GRUBU		İlk Renk (28. gün)						Son Renk (1 yıl sonra)						Renk Ayrımı
Harç Kodu		L ₁	a ₁	b ₁	H ₁	V ₁	C ₁	L ₂	a ₂	b ₂	H ₂	V ₂	C ₂	ΔE^*_{94}
DİŞ ORTAM	BFAf	74,83	2,68	6,50	17,3	7,3	1,2	53,40	6,82	4,47	8,2	5,9	1,7	21,8191
	BBFf	83,23	5,01	8,34	14,4	8,1	1,9	70,41	10,42	7,46	8,2	6,9	2,7	13,5508
	BBF	80,48	5,60	9,16	14,3	7,9	2,1	72,76	8,91	4,43	5,6	7,1	2,4	9,18724
	BC	79,01	7,49	8,99	12,5	7,8	2,4	69,92	8,25	4,63	6,4	6,8	2,2	9,78808
	BSF	73,76	3,12	6,37	16,7	7,2	1,2	51,26	5,26	2,99	7,8	5,0	1,3	22,7874
	BFA	75,03	2,47	6,00	17,1	7,4	1,1	60,29	6,89	4,73	8,3	5,9	1,7	15,2826
	BBP	69,63	10,19	10,47	11,3	6,8	2,9	56,23	14,27	4,37	2,9	5,5	3,3	14,6842
	BCf	83,29	5,07	7,21	13,8	8,2	1,8	69,33	8,68	4,86	6,3	6,8	2,3	14,4497
	BSFf	72,68	2,12	4,99	17,3	7,1	0,9	51,97	6,40	4,15	8,1	5	1,6	21,062
	BBPf	80,18	10,65	11,45	11,0	7,9	3,1	58,66	13,37	4,86	3,3	5,7	3,2	22,2808
İÇ ORTAM	BFAf	74,83	2,68	6,50	17,3	7,3	1,2	75,89	3,63	2,36	7,5	7,4	1,1	3,86937
	BBFf	83,23	5,01	8,34	14,4	8,1	1,9	86,00	5,12	2,75	5,7	8,5	1,7	5,39368
	BBF	80,48	5,60	9,16	14,3	7,9	2,1	82,31	4,91	2,56	5,5	8,1	1,6	5,64893
	BC	79,01	7,49	8,99	12,5	7,8	2,4	77,73	8,42	2,94	2,2	7,6	2,4	5,25568
	BSF	73,76	3,12	6,37	16,7	7,2	1,2	69,92	3,47	2,18	7,1	6,8	0,9	5,29235
	BFA	75,03	2,47	6,00	17,1	7,4	1,1	77,16	3,70	2,42	7,3	7,6	1,1	3,99091
	BBP	69,63	10,19	10,47	11,3	6,8	2,9	70,79	10,57	3,03	1,3	6,9	2,8	6,04999
	BCf	83,29	5,07	7,21	13,0	8,2	1,8	80,27	5,46	2,80	5,2	7,9	1,8	4,82188
	BSFf	72,68	2,12	4,99	17,3	7,1	0,9	73,65	2,45	1,77	8,2	7,2	0,7	3,04235
	BBPf	80,18	10,65	11,45	11,0	7,9	3,1	72,46	8,91	2,60	1,1	7,1	2,4	10,2938

Harçlardaki renk değişimlerine yönelik “TS-EN 15886—Kültürel Varlıkların Korunması – Deney Metotları – Yüzeylerin Renk Ölçümü” standardında, hesaplanmalardan elde edilen sonuçların kabul edilebilirliğine ilişkin bir değerlendirme sistemi bulunmamaktadır. Harç numunelerinin renk ayrımları (ΔE^*_{94})’nın kabul edilebilirlik değerlendirilmesinde Rodrigues ve Grossi tarafından gerçekleştirilen “Indicators and ratings for the compatibility assessment of conservation actions” başlıklı yayından yararlanılmış ve bu çalışmada renk ayırma değerinin 5’ten küçük olduğu harçlar uygulama açısından kabul edilebilir olarak tanımlanmıştır [10]. Çizelge 5 ve 6’dan da görüldüğü gibi hem dış ortamdaki hem de iç ortamdaki kum grubu harç numunelerinden uygulanabilir olanların sayısı tuğla grubu harç numunelerinden daha yüksektir. Ancak, genel duruma bakıldığında iç ortamda bekletilen harç numunelerinden uygulanabilir olanların sayısının dış ortamda bekletilenlerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum dış ortam koşullarının harçların renklerini etkilediğini açık bir biçimde göstermektedir.

3. SONUÇ

Günümüzde birçok tarihi yapının onarımında ve yenilenmesinde kullanılan malzemelerin görünümü çeşitli tartışmalara yol açmaktadır. Söz konusu malzemeler kimi zaman uygulama aşamasında özgün malzeme ile benzer özellikler gösterirken kimi zaman da belirli bir süre sonra özgün malzeme özelliklerine yaklaşmaktadır. Bu durum çoğu zaman renk ile ilgili benzerlik ve ayrımlar açısından öngörülemede ve dolayısıyla zaman içinde önceden kestirilemeyen görünümeler ortaya çıkmaktadır.

Tarihi yapıların korunması, onarımı ve güçlendirilmesinde kullanılan kireç harçlarının, yapıdaki özgün malzeme ile renksel uyumunu sağlayacak malzemelerin seçimi amacıyla gerçekleştirilen çalışmada, farklı harç numunelerinden fiziksel-mekanik özellikleri iyi olanların renksel özelliklerindeki değişim, uzun süreli deneyler ile araştırılmıştır. Çalışma kapsamında uygulanan yöntemden, koruma alanında kullanılan farklı malzemelerde ortaya çıkacak renk değişimlerinin belirlenmesi ve öngörülebilmesinde de yararlanılabilir. Çalışma ile ulaşılan sonuçlar ve kullanılan yöntem uyarınca yapılacak diğer çalışmalar konuya ilişkin yararlı veriler sunarak, literatüre katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Ahunbay, Z., Tarihi Çevre Koruma ve Restorasyon, Yem Yayın, İstanbul, 1999.
2. International Council on Monuments and Sites (ICOMOS), Venedik Tüzüğü, http://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOSTR_tr0243603001536681730.pdf, 1964, 02.08.2021.
3. Akbulut Ekşi, D., Tarihi Yapıların Onarımında Kullanılacak Harçların Seçimine Yönelik Bir Öneri, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
4. Türk Dil Kurumu (TDK), Güncel Türkçe Sözlük, <https://sozluk.gov.tr>, 01.08.2021.
5. Vikipedi Özgür Ansiklopedi, [https://tr.wikipedia.org/wiki/Harç_\(mimarlık\)](https://tr.wikipedia.org/wiki/Harç_(mimarlık)), 2008, 02.08.2021.
6. Akman, S., Güner, A., Aksoy, İ.H., Horasan harcı ve betonun tarihi ve teknik özellikleri, II. Uluslararası Türk-İslam Bilim ve Teknoloji Tarihi Kongresi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul, 1986.
7. Ousterhout, R., Master Builders of Byzantium, University of Pennsylvania Museum of Archaeology and Anthropology, Philadelphia, 1999.
8. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Çimento deney metotları- Bölüm 1: Dayanım tayini, TS EN 196-1, 2016.
9. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Kültürel Varlıkların Korunması – Deney Metotları – Yüzeylerin Renk Ölçümü, TS EN 15886,
10. Delgado Rodrigues, J., Grossi, A., Indicators and ratings for the compatibility assessment of conservation actions, Journal of Cultural Heritage, 8, 32-43, 2007.

KÜLTÜR VARLIKLARININ KORUNMASI VE SUNUMU KAPSAMINDA AYDINLATILMASI

Gizem Nur Güngör¹, Tuba Akar²

¹ Munzur Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, gizemgungor@munzur.edu.tr

² Mersin Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, tubaakar@mersin.edu.tr

Kültür varlıklarının aydınlatmalarının, diğer mimari aydınlatmalarındaki kriterlerin yanı sıra kültürel mirasın korunması kapsamında hassasiyetler barındırması gerekmektedir. Ulusal ve uluslararası alanda giderek artan uygulamaları olan bu konunun disiplinler arası bir çalışma alanı olması gerekliliği göz önünde bulundurularak aydınlatmanın neden olabileceği temel sorunlar ele alınmış ve bu sorunları en aza indirmek amacıyla kültür varlıklarının aydınlatmalarının yasal düzenlemeler ile kontrol altına alınarak nitelikli hale getirilmesi gerekliliği ortaya konmuştur.

Anahtar kelimeler: Mimari Aydınlatma, Kültür Varlıklarının Aydınlatılması

Illumination Of Cultural Assets in the Context of Conservation and Presentation

Illuminations of cultural assets should contain sensitivities within the scope of protection of cultural heritage, as well as criteria in other architectural illuminations. Considering the necessity of this subject, which has increasing applications in the national and international arena, to be an interdisciplinary field of study, the main problems that may be caused by lighting have been discussed and in order to minimize these problems, it has been revealed that the lighting of cultural assets, should be controlled by legal regulations and made qualified.

Keywords: Architectural Lighting, Lighting of Cultural Assets

1. GİRİŞ

Aydınlatma kavramı genel olarak nesnelere, bunların çevrelerine, ya da bir bölgeye, bir kent bölgesine, görülebilmeleri için ışık uygulanması olarak tanımlanmaktadır [1]. Bu tanıma göre aydınlatma, temel olarak “görülebilme” olgusu üzerine kurulu olsa da mimari bağlamda ele alındığında tarih boyunca dönemin ihtiyaçları ve teknolojik gelişmelerine paralel olarak gelişen ve çok yönlü düşünülmesi gereken bir kavram haline gelmiştir. 1950’li yılların başında yalnızca teknik aydınlatma olarak değerlendirilebilecek aydınlatma tasarımları, kente dair artan sosyal ihtiyaçlar ve teknolojik imkânlarla birlikte yalnızca işlevsel olmanın ötesine geçerek tasarımsal simge niteliği kazanmıştır. Yapılar için özel olarak senaryolaştırılmış aydınlatmalarla birlikte ışık renk ve yoğunluk değerlerinin farklılaşmasıyla ortaya konan aydınlatma tasarımları söz konusu yapılar ve kentleri birer cazibe merkezi haline getirmiştir. Bu gelişmelerle birlikte ışığın ilgi çekici olma gücünden yararlanılarak özellikle tarihi kentlere dair kullanıcılara verilmek istenen mesajları aktarmak ve aynı zamanda kültür varlığı yapılarının kendini sunmasına olanak sağlamak amacıyla ilk olarak 1999 yılında Fransa’nın Lyon kentinde başlayan ışık festivalleri, günümüzde yaygınlaşarak dünyanın birçok ülkesinde düzenlenmektedir. Kültür varlığı yapıları, kültürel miras değerlerine ve bunların aydınlatma ile olan ilişkisine dair belirlenen yeniden kullanım, kültürel mirasın aydınlatılması, akıllı aydınlatma teknikleri, kent cazibesi gibi temalarla aydınlatılmıştır. Böylece kültür varlıkları kent ile kullanıcılar arasında bir iletişim aracına dönüşürken aynı zamanda kendilerini sergileme imkânı buldukları için kentsel miras bilincinin oluşması da sağlanmıştır [2].



Şekil 1. Lyon ışık festivali kapsamında aydınlatılan tarihi yapılar [3]

Aydınlatma etkinliklerinin büyük ilgi görmesi ile kent mirasının sunumuna sunduğu katkılar sonucunda daha geniş kapsamlı ve sürekli aydınlatma tasarımları yapılmaya başlanmıştır. Yaygınlaşan bu tasarımlarla beraber aydınlatmaya dair iletişim platformu oluşturmak ve kentsel aydınlatma deneyimlerini paylaşmak amacıyla farklı ülkelerden birçok kent Lighting Urban Community International (LUCI) adı altında bir araya gelmiştir. Bunun yanı sıra Guerilla Lighting adı altında farklı ülkelerden aydınlatma tasarımcılarının bir araya gelerek oluşturdukları grup, dünyanın çeşitli yerlerindeki karanlıkta kalıp unutulmaya yüz tutmuş kültür varlığı yapılarının aydınlatma ile kente yeniden kazandırılması amacıyla geçici aydınlatma etkinlikleri düzenlemektedir. Dünyada büyük ilgi gören bu aydınlatma hareketi, ülkemizde de 2009 yılında İstanbul'da düzenlenmiş olup aydınlatmanın sanatsal ve estetik yönü de düşünülerek kentin öne çıkarılması gereken değerlerini görünür kılmayı hedeflemiştir. Bu topluluğun etkinlikleri sonucunda aydınlatılan tarihi yapıların aydınlatma gereksinimleri ortaya konarak kalıcı aydınlatma tasarımları yapıldığı görülmüştür.

Kültür varlıklarının bu etkinlikler kapsamında geçici veya sürekli aydınlatmalarının gittikçe yaygınlaşan bir uygulama haline gelmesi, bu alanda nitelsiz ve kontrolsüz uygulamaları da beraberinde getirmektedir. Bu durum başta ışık kirliliği ve beraberindeki ekolojik sorunlar olmak üzere kültür varlığının özgün yapısına dair de birçok probleme neden olmaktadır. Bu çalışmada aydınlatma ile ilgili bu olumsuzlukların önüne geçmek ve kültürel mirasın korunması amacıyla kültür varlıkları tasarımlarının mevzuat düzenlemeleriyle kontrol altına alınması gerekliliği ortaya konmaktadır.

2. KÜLTÜR VARLIKLARININ AYDINLATMA GEREKSİNİMLERİ

Kültür varlıkları toplumların ortak geçmişini, toplumsal ve kültürel birikimlerini simgeleyen, kent kimliğinin en önemli öğelerinden biri olduğundan bu mirası özgün değerleriyle birlikte geleceğe aktararak korumak gerekmektedir. Bunun için öncelikle bilimsel yöntemler kullanılarak yapının geçmişinin araştırılması, bu bilgiler ışığında bugünkü kullanıcılar için ifade ettiği değerlerin ortaya konulması ve sonrasında uygun teknik çalışmalarla koruma altına alınması gerekir [4]. Bu noktada kültür varlıklarını korumada sürekliliğin sağlanması amacıyla gece aydınlatmaları korumaya yardımcı bir araç olma görevi üstlenmektedir.

Kültür varlıklarının koruma kapsamında aydınlatılması, barındırdığı ışık ve renk ögesi ile görünürlüğü sağlamaktan çok daha fazla anlam barındırmaktadır. Işığın algı üzerindeki yönlendirici rolünden yararlanılarak kültür varlığının değerlerini ön plana çıkaran estetik imajlar sunulmakta, fikirler yapı cephesi ile birlikte görselleştirilebilmekte ve bütün bunların sonucunda imgesel görüntüler oluşturulabilmektedir. Işığın bu etkili bir şekilde görünür kılma gücünden faydalanan aydınlatma tasarımları ile kullanıcıların zihninde oluşturulan imgeler,

aidiyet duygusunu uyandırır. Böylece kültür varlığının kent yaşantısında yer edinerek kullanıcıların koruma sürecine efektif olarak katılmaları sağlanır.

Aydınlatma ile ışığın imgesel gücünün yanı sıra özellikle arkeolojik alanlarda görünürlüğü sağlayarak bu alanların gece de gezilebilir olması sağlanabilir. Bu alanların gece ziyaretçilerine açık olması her arkeolojik alan için kendi özelinde tartışılması gereken bir durum olsa da ülkemizde de konu ile ilgili örnekler yaygınlaşmaktadır. Yakın zamanda uygulanan bir arkeolojik alan aydınlatması olarak Efes Antik Kenti örnek verilebilir. Burada yapılan tarihi alan aydınlatması ile Efes Antik Kenti'nin gece ziyaretçilerine açılması ve gece müzeciliği yapılması planlanmaktadır.



Şekil 2. Efes Antik Kent Aydınlatması [5]

Kültür varlıklarının aydınlatılması, özellikle tarihi doku içerisinde kent kimliğinin korunması bakımından da büyük önem taşımaktadır. Kent kimliğinin en belirgin ögesi ve kentsel mirasın da bir parçası olan kentsel silüetin gece görüntüsünde de okunabilir olması gerekmektedir. Kent silüetini oluşturan kültür varlıklarının silüeti oluşturan diğer öğelerle birlikte hiyerarşik bir düzen oluşturularak aydınlatılması sonucunda elde edilen gece imajı, kent kimliğinin sürekli olarak algılanabilmesini sağlar. Ayrıca tarihi kentlerde gün ışığı altında belirgin olarak okunamayan kent dokusu aşağıdaki görsellerde olduğu gibi gece aydınlatmaları ile etkili bir şekilde görünür hale getirilerek kentsel kimlik vurgusu yapılabilir.



Şekil 3. Avila Kenti gündüz ve gece görünümü [6]

3. KÜLTÜR VARLIKLARINI AYDINLATMADA KARŞILAŞILAN TEMEL SORUNLAR

Söz konusu kültür varlıklarının aydınlatılması olduğunda, diğer dış aydınlatmalarda görülebilecek ışık kirliliği gibi sorunların yanı sıra niteliksiz aydınlatmadan kaynaklı kültür

varlığının kendi fiziksel yapısı ve sahip olduğu değerlere dair problemler de ön plana çıkmaktadır. Bu sorunlar;

- Aydınlatma Tasarımının Bütüncül Olmamasından Kaynaklanan Sorunlar
 - Yapının Mimarisine Uygun Olmayan Aydınlatmalardan Kaynaklanan Sorunlar
 - Işık Kaynaklarının Yanlış Seçimi ve/veya Konumlandırılmasından Kaynaklanan Sorunlar
 - Yapının Ekolojik Bağlamının Gözetilmeden Aydınlatılmasından Kaynaklanan Sorunlar
- olmak üzere dört başlık altında toplanmıştır [7].

• Aydınlatma Tasarımının Bütüncül Olmamasından Kaynaklanan Sorunlar

Kültür varlıkları aydınlatılırken bulundukları çevredeki tarihi doku ve/veya yeni dokuyu oluşturan elemanların göz ardı edilmesi kentin gece görünümünde özgün kimliğinden farklı bir görüntü sergilemesine neden olur. Özellikle kentsel silüet içerisinde bulunan yapılarda silüeti oluşturan diğer yapıların gece aydınlatmalarının dikkate alınmaması önemli bir kentsel miras ögesi olan kent kimliğinin doğru algılanmasını zorlaştırır. Ayrıca kentsel ölçekte bir bütün olarak ele alınmadan yapılan aydınlatmalarda yapının çevresinde daha sonradan yapılacak olan aydınlatmalar önceden öngörülüp planlanmadığı için söz konusu kültür varlığının uzun vadede gece görüntüsünde geri planda kalıp algılanamaması gibi görsel problemlere yol açabilir. Bu durum kentin gece görüntüsünde birbirinden kopuk, aralarında görsel hiyerarşi bulunmayan bir imaja ve kente dair ön plana çıkarılması gereken değerlerin vurgulanamamasına neden olur.

• Yapının Mimarisine Uygun Olmayan Aydınlatmalardan Kaynaklanan Sorunlar

Bir kültür varlığının mimari öğelerinin hem kendi özellikleri hem de bir araya geliş hiyerarşileri kültür varlığının mimari değerini ortaya koyar. Bu öğeler ve bir araya geliş hiyerarşileri analiz edilmeden yapılan aydınlatmalar, tekdüze olup yapının özgün değerlerine referans vermeyen görüntülere neden olur. Cephedeki doluluk boşluk, yataylık düşeylik, önde geride olma gibi ilişkiler göz önünde bulundurulmadan oluşturulan gece görüntüleri yapının gece görüntüsünde doğru algılanamamasına yol açar. Örnek olarak aşağıda görselleri verilen UNESCO Dünya Mirası Listesi'nde yer alan Ayasuluk Kalesi'nin gece görüntüsü incelendiğinde yapılan aydınlatmanın kalenin mimari özelliklerine referans vermediği açıkça görülmektedir. Kalenin beden duvarları ile kuleleri arasındaki önde-geride olma ilişkisi gece görüntüsünde algılanamamakta ve tekdüze bir görüntü oluşturmaktadır.



Şekil 4. Ayasuluk Kalesi gece aydınlatması [8]

Kültür varlıklarının aydınlatılmasında mimari özelliklerin analizi görsel olarak yapının doğru algılanabilmesinin yanı sıra ışığın cephe üzerinde doğru yönlendirilebilmesi, ışık yoğunluğu ve renk tonunun seçimi bakımından da önem taşımaktadır. Bu noktada yapı cephesinin malzeme,

renk ve doku özelliklerine uygun olmayan renk ve ışık açılarının kullanılması yapı cephesindeki farklılıkların algılanamamasına veya yanlış algılanmasına neden olabilmektedir.

• Işık Kaynaklarının Yanlış Seçimi ve/veya Konumlandırılmasından Kaynaklanan Sorunlar

Kültür varlıklarının korunması ve sunumu kapsamında yapılan aydınlatmalarda en önemli kriter aydınlatma tasarımının her aşamasında koruma ilkelerini göz önünde bulundurarak hareket etmektir. Bu bağlamda birinci öncelik yapıya yapılan müdahalelerin geri dönüştürülebilir olmasıdır. Işık kaynaklarının seçimi ve konumlandırılması konu ile ilgili dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan biridir. Kültür varlığının mevcut fiziksel özelliklerine uygun olmayan armatür seçimi veya armatürlerin yapıya uygun olmayan yöntemlerle entegre edilmesi, yapıyı geri dönüşü olmayan hasarlarla karşı karşıya bırakabilmektedir.

Kültür varlıklarının aydınlatmalardan olumsuz etkileneceği bir diğer durum ise ısı faktörüdür. Yapı cephesi ışık kaynakları ile aydınlatılırken aynı zamanda bu kaynaklardan yayılan ısı enerjisine de maruz kalmaktadır. Kültür varlıklarının dış faktörlerden etkilenebilecek hassas malzemeler veya cephe bezemeleri gibi özelliklere sahip oldukları düşünülürse yüzey malzemesinin ısıya dayanıklılığının da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Her ne kadar aydınlatma elemanlarından yayılacak olan ısı enerjisi yüksek seviyelerde olmasa da uzun vadede yapı cephesinde oluşturacağı hasar ve bozulmalar öngörülerek hareket edilmelidir. Örnek olarak aşağıda görseli verilen 1979 yılında UNESCO Dünya Miras Listesi'ne giren Lascaux Mağaralarının duvarlarında Üst Paleolitik Dönem kalıntıları niteliğinde süslemeler yer almaktadır. Bu süslemelerin yapılan aydınlatmadan kaynaklı ışık ve ısı yoğunluğundan zarar görmesi sonucunda mağaradaki aydınlatma kaldırılmıştır.



Şekil 5. Lascaux Mağaraları [9]

Işık kaynaklarının konumlandırılması kültür varlığına fiziksel hasarlar verirken bu kaynaklardan yayılan ışık şiddeti ise yapının görsel olarak algılanması ile ilgili olumsuzluklara neden olmaktadır. Armatürlerden yapıya yansıyan ışık şiddetinin fazla olması sonucunda cephede gereğinden fazla aydınlatılmış alanlar oluşacak ve ışık yoğunluklarının belirli bir denge içerisinde olmadığı durumlarda hem kamaşma etkisi ile görsel konfor koşullarına hem de yapının özgün mimari özelliklerine uygun olmayan görüntüler ortaya çıkar. Benzer şekilde armatürlerden yayılan ışığın doğru yönlendirilemediği durumlarda da yapı cephesinde parlamalar meydana gelir. Bu parlak alanların arasında kalan bölgelerde ise yine tasarım dahilinde olmayan gölge alanlar oluşur. Yapı cephesindeki bu kontrolsüz yoğun aydınlık ve gölge alanlar sonucunda ortaya çıkan görüntü ise kültür varlığının özgün yapısına referans veremeyen olumsuz bir imaj oluşmasına neden olur.

Işık kaynaklarının konumlandırılması, ışığın doğru yönlendirilmesi noktasında da önemli bir rol oynamaktadır. Aydınlatma elemanlarının doğrultularının aydınlatılmak istenen bölgeye uygun olarak ayarlanamaması durumunda ışığın kontrol edilmesi zorlaşır. Armatürlerden

çevreye yayılan bu kontrolsüz ışıklar, çağımızın en önemli güncel sorunlarından olan ışık kirliliğine neden olur. Yanlış aydınlatmalarla aydınlatılmak istenen yerler dışına yayılan ışıklar, enerjinin etkin kullanılamaması sonucunda ekonomik problemler ortaya çıkmaktadır. Aynı şekilde aydınlatmak istenen yerler dışında yapının çevresine ve gökyüzüne dağılan ışıklar, gökyüzü kamaşmasına neden olmaktadır. Bu durum özellikle astronomi ile ilgili profesyonel gözlemlerin yapılmasına engel olurken gök parlamasının yoğun olduğu alanlarda geceleri yıldızların görülmesini bile engelleyebilmektedir.

• Yapının Ekolojik Bağlamının Gözetilmeden Aydınlatılmasından Kaynaklanan Sorunlar

Dünya üzerindeki canlıların yaşamını tehdit eden en önemli unsur ekolojik dengenin bozulmasıdır. Işık kirliliği ise bu dengenin bozulmasındaki en büyük etkidir. Canlıların biyolojik döngüleri temel olarak ışık ile doğrudan ilişkilidir. Işık kirliliği sonucunda dünyanın aydınlık karanlık dengesinin bozulması bu canlıların dinlenme, üreme, oryantasyon gibi yaşamsal faaliyetlerini gerçekleştirememesine neden olmaktadır.

Bitki türlerinin neredeyse tamamının yaşamsal döngüleri ışık ile belirlenmiştir. Bitki yoğunluğunun fazla olduğu özellikle kentsel olmayan alanlarda yapılan kontrolsüz aydınlatmalar bu canlıların hayatını tehdit etmektedir. Bazı bitki türleri, ışık kirliliğinden etkilenerek yaşamsal döngülerinden bağımsız olarak erken yaprak veya çiçek oluşturmaktadır. Yine benzer şekilde ışık kirliliği, bazı ağaç türlerinin yapraklarında mevsimlere bağlı olarak görülen renk değişimlerini sağlayamamalarına neden olmaktadır.

Bitkilerin yanı sıra hayvanlar da hormonal dengelerini, üreme ve oryantasyon gibi faaliyetlerini ışık ile ilişkili olarak gerçekleştirmektedir. Gece ışık dengesinin bozulması, Caretta Caretta olarak adlandırılan deniz kaplumbağalarının hem yumurtlama dönemini olumsuz etkilemekte hem de denize ulaşabilmek için ışıkla yönelim sağlayan bu canlıların yanlış yönelim sonucunda ölmesine neden olmaktadır. Oryantasyonunu ışık ile sağlayan bir diğer canlı türü olarak bazı böcek türlerinin yanlış yönlendirilmesi sonucunda hem kendi yaşamları tehlikeye girmekte hem de tozlaşma faaliyetlerinde oynadıkları rolden dolayı bitkilerin çoğalması da olumsuz etkilenmektedir.

Dış aydınlatmada kullanılan ışık yoğunluğu ve renkleri kuşların da yaşamsal faaliyetlerini olumsuz etkilemektedir. Işık sayesinde yönlerini bulan bu canlıların hormonal dengeleri, göç etme rotaları ve avlanma gibi faaliyetleri yoğun gece aydınlatmalarından büyük oranda etkilenmektedir.

Bağlamında su ögesi bulunduran yapıların aydınlatılmasında habitatı su olan canlıların ışıktan etkilenme oranları büyük önem taşımaktadır. Örneğin mercanlar suya yansıyan gereksiz ışıktan dolayı, mikroskobik bitkilerden renklerini alamayıp beyazlaşmakta ve strese girmektedirler. Yine su ekosisteminin önemli öğelerinden olan bazı balık türleri yönelimlerini ışık ile sağlamaktadır. Bu alanlarda yapılan aydınlatmaların ışık yoğunluğu ve rengi, ışığın suya yansıma açısı bu canlıların ışığa yönelerek özellikle göç zamanlarında yaşamsal döngülerinin olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. Aşağıda görseli yer alan tarihi Glasgow köprüsü yoğun mavi-beyaz ışık renkleri ile aydınlatılmakta ve aydınlatma armatürleri nehri direkt ışığa maruz bırakmaktadır. Nehrin zengin balık popülasyonu bulundurması nedeniyle yapılan araştırmalar sonucunda, köprü aydınlatmasının nehirde yaşayan balıkların kontrolsüz avlanmalarına ve yaşam döngülerinde olumsuzluklara neden olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6. Glasgow Köprüsü gece aydınlatması [10]

Niteliksiz aydınlatmalar diğer canlılar kadar insanların sağlığı üzerinde de olumsuz etkilere neden olmaktadır. Bu olumsuzlukların başında görsel konfor koşullarının sağlanamaması gelmektedir. Yapının yüksek yoğunluklu ışıklarla aydınlatılmış olması ve aydınlık ile gölge alanlar arasındaki dengenin kurulamamış olması yapıya uzun süreli bakmayı zorlaştırmaktadır. Ayrıca özellikle kent merkezi içerisinde söz konusu yapının çevredeki konutlarla olan uzaklıklarının göz önünde bulundurulmadan yapılan aydınlatmalarda, pencerelerden içeri sızan yoğun ışıklar konut kullanıcılarının olumsuz etkilenmesine de neden olacaktır. Bu kısıtlar dikkate alınmadığında yanlış renk seçimi ve yoğun aydınlatmaya maruz kalan insanların hormonal dengelerinin etkilenmesi sonucunda meme kanseri gibi ciddi rahatsızlıklara yakalandıkları bilinmektedir [11].

Ülkeler genel olarak aydınlatmaların neden olduğu ışık kirliliğine karşı önlem almak için çeşitli çalışmalar yapmaktadır. Bu bağlamda ilk olarak 1913 yılında aydınlatma alanında temel standartları ortaya koymak ve uluslararası platformda bu alandaki deneyimleri paylaşmak amacıyla Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) kurulmuştur. Işık kirliliği ile ilgili araştırmalar yapan öncü ülkelerden olan İtalya, 1973 yılında ülkedeki ışık kirliliği haritasını çıkardıktan sonra 1997 yılında ışık konu ile ilgili ilk yasasını çıkarmıştır. Çıkarıldığı yıldan günümüze kadar değişen yaşam koşulları ve ilerleyen teknolojilere paralel olarak güncellenen bu yasa genel olarak enerji tasarrufu sağlamak, aydınlatma armatürlerinin seçimi, aydınlatma değerleri gibi konularla ilgili kriterleri içermektedir. Kültür mirası değerlerine yönelik olarak ise özellikle yerleşimin az olduğu alanlarda bulunan anıt niteliğindeki yapıların sadece aydınlatması gerekli olan alanlarla sınırlı olmasına karar verilmiş ve buralarda yapılacak aydınlatmalarda profesyonel bir aydınlatma tasarımcısının çalışması gerektiği belirtilmiştir [12].

Avusturalya’da ışık kirliliğine dair yapılan çalışmalarla aydınlatma sınır değerleri belirlenmiş ve yerel yönetimlerle halkı bilinçlendirmek için 1991 yılında Işık Kirliliği alt komitesi kurulmuştur. Bu komitenin aktiviteleriyle, aydınlatmaya dair ülkedeki genel aydınlatma yasası olan Avusturalya Aydınlatma Standartları’na ek olarak bazı bölgelerdeki yerel yönetimler kendi dış aydınlatma yönetmeliklerini de çıkarmıştır [12].

1988’de ABD’de kurulan Uluslararası Karanlık Gökyüzü Birliği (IDA) dünyanın çeşitli yerlerinden 51 ülkeye ulaşarak ışık kirliliği işle ilgili çözümler içeren bilimsel araştırmaları hem dijital hem de basılı yayın olarak paylaşmaktadır. Ayrıca ülkede ışık kirliliği sorunu üzerine eğilerek enerji tasarrufuna dair yapılan çalışmalar sonucunda yerel yönetimler Avusturalya’da olduğu gibi kendi dış aydınlatma yönetmeliklerini oluşturmuşlardır [12].

1996 yılında Belçika ve İsviçre ışık kirliliğine karşı halkı bilinçlendirmek adına çalışmalar yürütmeye başlamış ve iki ülke de kendi aydınlatma yönetmeliklerini çıkarmıştır. Ayrıca

İsviçre’de İsviçre Alp’leri’ni koruma kapsamına ışık kirliliğini önlemeye dair kısıtlar getirilmiştir [12].

Işık kirliliğinin en fazla görüldüğü Avrupa ülkelerinden biri olan İngiltere’de İngiliz Astronomi birliği ile Uluslararası Karanlık Gökyüzü Komitesi’nin iş birlikleri sonucunda oluşturulan “Karanlık Gökyüzü Kampanyası” dahilinde ışık kirliliği ile ilgili yeni kavramlar tanımlanmış ve bu sorunun önüne geçilebilmesi için yasal bir altyapı oluşturulmuştur [12].

Işık kirliliğini önlemek adına 1998 yılında Fransa’da kurulan aydınlatma komiteleri etkinliklerini artırarak 2009 yılında ışık kirliliğine dair mevzuatın çıkarılması için altyapı oluşturmuştur. Ayrıca konu ile ilgili pilot bölge uygulamalarını sonucu yerel yönetimler ve akademik çalışmacılar bir araya gelerek güncel yasalar çıkarılmaya devam edilmektedir.

Kontrolsüz aydınlatmaların neden olduğu ışık kirliliğinin özellikle ekosistem üzerindeki etkileri ile ilgili çalışmalar yapan Slovenya’nın yasal düzenlemeleri 2007 yılında oluşturulmuştur. Bu yasalar yapılar, yollar, parklar gibi kamusal alanların yanı sıra tarihi yapıların da aydınlatmasına dair kriterler içermektedir. Bu kapsamda gece aydınlatmalarının sadece ihtiyaç duyulan saatlerde aktif olması gerekliliği belirtilmiş, böylece ekolojik hayata verilen zararın minimuma indirilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca bu yasal düzenlemelere göre dini yapılar ile kültür mirası yapıların aydınlık seviyelerinin daha düşük değerlerde seçilmesi gerektiği belirtilmiştir [12].

Tablo 1. Işık Kirliliğine Karşı Bazı Ülkelerdeki Faaliyetler [12]

Ülke	Yıl	Eylem
İtalya	1973	Işık kirliliği haritası çıkarılması
Avusturya	1981	Işık kirliliğinde sınır değerlerini ülkesel boyutta oluşturmuştur.
ABD	1988	Uluslararası Karanlık Gökyüzü Birliği kurulmuştur.
İngiltere	1990	Karanlık Gökyüzü İçin Kampanya adlı bir örgüt oluşturuldu.
Avusturya	1991	Işık Kirliliği Alt Komitesinin oluşturulması
İngiltere	1992	Işık kirliliğini azaltmaya yönelik kurallar yayınlanmıştır.
Türkiye	1995	Aydınlatma Türk Milli Komitesi’nin kurulması
Belçika	1996	Işık kirliliğine karşı yerel yönetimlerin yasa çıkarma faaliyetlerinin artması
İsviçre	1996	Karanlık Gökyüzü Derneğinin kurulması
Hindistan	1997	“Işık Kirliliği Bilinçlendirme Programı”nın başlatılması
Yunanistan	1997-1999	Halkın eğitimi için program düzenleme, iki okulda pilot eğitimin başlatılması
Fransa	1998	Gece gökyüzünü korumak için ulusal komitelerin oluşturulması
Japonya	1998	Yıldızlı Gökyüzünü Koruma Birliği kurulmuştur.
Çek Cumhuriyeti	2002	“Atmosferi Koruma Kanunu”
Almanya	2005	Ausburg şehri Çevre Komitesince ışık kirliliğini sıfırlama sözünün verilmesi
İtalya	2006	Işık kirliliğini azaltmak ve enerji koruma amacıyla bir protokol imzalanması, 21 Eylül’ün “Ulusal Işık Kirliliği Problemi Günü” olarak kutlanması
Slovenya	2007	Işık kirliliği yasasının kabul edilmesi
Fransa	2009	Işık Kirliliği Ulusal Mevzuatının oluşturulması

Işık kirliliği ve dış aydınlatma ile ilgili olarak dünyadaki yasal düzenlemelerden sonra Türkiye’deki durum incelendiğinde; ülkemizdeki çalışmalar birçok ülkeye göre çok daha erken başlamış olsa da bunların sonucunda detaylı bir yasal düzenleme oluşturulmadığı görülmektedir. 1995 yılında kurulan ve Uluslararası Aydınlatma Komisyonu’na üye olan Aydınlatma Türk Milli Komitesi’nin Türk Astronomi Derneği ile birlikte “Işık Kirliliği Yasa

Tasarısı” adı altında bir yönetmelik oluşturmak için çalışmalarına devam etmektedir. Türkiye’de ışık kirliliğine dair çalışmalar genel olarak üniversite ve konu ile ilgili toplulukların faaliyetleri ile sınırlı kalmış, detaylı bir yasa oluşturulamamıştır. 2013 yılında çıkarılan “Genel Aydınlatma Yönetmeliği” günümüze kadar güncellenerek gelse de gelişen teknolojiler ve diğer ülkedeki gelişmeler göz önünde bulundurulduğunda yetersiz kaldığı ve özellikle kültür varlıklarının aydınlatılması ile ilgili detaylı ve yönlendirici içeriğe sahip olmadığı görülmektedir.

4. SONUÇ

Kültür varlıklarını koruma kapsamında aydınlatma uygulamaları hem dünyada hem de ülkemizde gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. İşlevsel bir ihtiyaç olmanın yanı sıra günümüz dünyasında estetik ve sosyal bir gereksinim olan aydınlatmanın, geçmişimizin birikimi olarak korunup yarınlara aktarılması gereken kültür varlıkları olduğunda daha da ayrıcalıklı bir hal aldığı ortadadır. Kültür varlıklarının aydınlatılmasıyla ilgili karşılaşılan bu temel problemlerden yola çıkılarak, bu aydınlatma tasarımlarının sadece bir koruma uzmanı mimar ile yapılmasının eksik bir yaklaşım olacağı ve problemlere yol açacağı açıkça görülmektedir. Bu nedenle hem genel olarak kontrolsüz aydınlatmaların ve bunların neden olacağı problemlerin önüne geçmek hem de kültür varlıklarının hassasiyetlerini gözeterek aydınlatma tasarımları gerçekleştirmek için konu ile ilgili daha fazla profesyonel tartışma ortamları yaratılması ve akademik çalışmalar yapılarak nitelikli aydınlatma bilinci oluşturulması gerekmektedir.

Kültür varlıkları bakımından oldukça zengin olan ülkemizde, bu değerlerin profesyonel bir şekilde aydınlatılması ile ilgili mevzuat boşluğu dikkate alınarak bu boşluğun doldurulması için disiplinler arası çalışmalar gerçekleştirilmelidir. Aydınlatma tasarım sürecinin hangi çalışmaları içerdiği ve bu süreçlerde hangi uzman kişilerin rol alması gerektiği belirlenmelidir. Kültür varlıklarının aydınlatması belirlenen bu gereklilikler dahilinde rölöve-restitüsyon-restorasyon projesi sürecinin bir parçası olarak ele alınmalıdır. Ayrıca her bir kültür varlığının aydınlatması bölgesel ölçekte Koruma Amaçlı İmar Planları ile birlikte düşünülmeli böylece kentin dinamik yapısına entegre olabilen sürdürülebilir bir aydınlatma planlaması yapılmalıdır.

KAYNAKÇA

1. Sirel Ş., Aydınlatma Sözlüğü, Sayı 112, Yıldız Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 2012.
2. Narboni, R., Işık master planları – Bundan sonra ne gelecek, Professional Lighting Design Türkiye Dergisi, 60, 26, 2016.
3. The Good Life France, Festival of Lights Lyon, <https://thegoodlifeFrance.com/festival-of-lights-lyon/>, 15/07/2021.
4. Yıldız, E., Asatekin, N., Anıtsal Yapıların kullanım sürecinde değerlendirilmesine yönelik bir model önerisi. METU Journal of the Faculty of Architecture 33(2), 161-182 DOI: 10.4305/METU.JFA.2016.2.13, 2016.
5. İzmir Efes Örenyeri, <https://muze.gov.tr/urun-detay?CatalogNo=WEB-EFS01-01-008>, 17/07/2021.
6. Avila Lighting Project, <https://aureolighting.com/project/proyecto-avila/>, 17/07/2021.
7. Güngör, G., Kültür Varlıklarının Korunması ve Sunumu Bağlamında Aydınlatılması: Mersin Kızkalesi Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, 2021.

8. Selçuk'un Kalesi Işıl Işıl, <http://www.egedesonsoz.com/haber/Selcuk-un-kalesi-isil-isil/967749>, 15/07/2021.
9. Lascaux Mağaraları, https://whc.unesco.org/en/list/85/_17/07/2021.
10. Bean, C., W., Nature conservation and the river, Conference on the Ecology and Management of the First of Clyde Papers February, 5, 2001.
11. Talu, F., Işık Sağlığı ve Ruh Hali Doğru Orantılı, <https://www.ekoyapidergisi.org/3577-isik-ve-ruh-hali-dogru-orantili.html>, 2017, 20/07/2021.
12. Işık Kirliliği, <http://tug.tubitak.gov.tr/sites/images/tug/isikkirliligidigerulkelerneleryapiyor.html>, 20/07/2021

GÜN IŞIĞINA DUYARLI FOTOKROMİK CAMLI NUMARALI GÖZLÜKLER İLE ARAÇ SÜRÜCÜSÜ OLARAK TÜNELE GİRMEK

Kazım Hilmi Or¹

¹ Private Office of Ophthalmology. Hamburg. Germany. hilmi.or@gmail.com

Fotokromik gözlük camları, üzerine ultraviyole ışınlar düştüğünde rengini koyulaştıran ve ultraviyole ışınlar olmadığında tekrar daha şeffaf hale gelen camlardır. Bu camlar nispeten hızlı bir şekilde kararır, ancak yaklaşık 4-10 kez daha yavaş olarak daha şeffaf hale gelir. Son birkaç on yılda, araba güvenlik camları ultraviyole radyasyonun geçmesine izin vermeyen malzemelerden yapılmıştır. Fotokromik camlı gözlükleri olan sürücüler için bunun anlamı, araç kullanırken fotokromik camların koyulaşmaması idi. Görünür gün ışığında da (ultraviyole ışınları olmadan) ve bu nedenle araç içinde de koyulaşan gözlük camlarını piyasaya sürüldü. Tünel girişleri başlangıcında belirli bir mesafe veya yolculuk süresi boyunca sürücünün gözlerinin tüneldeki göreceli karanlığa alışabileceği şekilde aydınlatılır. Araç kullanırken numaralı gözlük kullanması gereken sürücüler gün ışığına duyarlı fotokromik camlı gözlükler takarsa, tünelde koyulaşmış fotokromik cam nedeniyle oluşmuş ek karanlığa yeterince hızlı adapte olamazlar. Camlar da tünele girilmesi ile yeterince hızlı bir şekilde yeniden şeffaflaşamaz. Bu camları takan araç sürücülerini için tünellere girmek tehlikeli olabilir.

Anahtar kelimeler: Tünel Girmek, Tünel Aydınlatması, Fotokromik Gözlük Camı, Sürücü, Görme Algılaması

Entering the Tunnel as a Vehicle Driver with Daylight Sensitive Photochromic Glasses

Photochromic lenses are lenses that darken its color when ultraviolet rays fall on it and become more transparent again in the absence of ultraviolet rays. These glasses darken relative quickly, but become more transparent about 4-10 times slower. In the last few decades, car safety glasses have been made of materials that do not allow ultraviolet radiation to pass through. For drivers with glasses with photochromic lenses, this meant that the photochromic lenses did not darken while driving. Spectacle lenses that darken also in visible daylight (without ultraviolet rays) and therefore also in the vehicle are newly introduced. Tunnel entrances are initially illuminated so that the driver's eyes can get used to the relative darkness in the tunnel for a certain distance or travel time. If drivers who need to wear prescription glasses while driving wear glasses with photochromic lenses that are sensitive to daylight, they cannot adapt quickly enough to the additional darkness caused by the darkened photochromic glass in the tunnel. Glasses cannot be re-transparent fast enough by entering the tunnel, also. Entering tunnels can be dangerous for drivers wearing these glasses.

Keywords: Entering the Tunnel, Tunnel Illumination, Photochromic Eyeglasses, Driver, Visual Perception.

1. GİRİŞ

Fotokromi tekniği ile üzerine ışık düşen bir camın mevcut rengi koyulaşır [1]. Endüstride kullanımı %95'ten fazla oranda gözlük camlarına koyulaştırıcı filtre olarak eklenmesi şeklindedir. İlk zamanlar camın hamuruna katıldığı için camın diyoptisine bağlı olarak camın farklı yerlerinde farklı yoğunluklarda etki etmesi optik ve kozmetik olarak dezavantaj oluşturuyordu. Son on yıllarda teknoloji değişerek fotokromi özelliğinin gözlük camına ince bir katman olarak ilave edilmesi sonucunda camın tüm yüzeyinde eşit bir koyulaşma etkisi göstermektedir. Böylece optik ve kozmetik olarak daha başarılı bir sonuç edilmiştir. Son yıllarda teknolojik gelişmeler ile tünel aydınlatması kuralları ve araçlarda güvenlik camı

kullanımı nedeniyle, kullandığı araç içinde numaralı bir görünür ışığa duyarlı fotokromik cam kullanan bir sürücünün bir tünele girerken mevcut olan optik durumu değişmiştir.

2. MATERYAL ve METOD

Ultraviyoleye ve görünür gün ışığına duyarlı fotokromik gözlük camı özellikleri, tünele giriş aşamasındaki aydınlatma kuralları, araç güvenlik camı yönetmelikleri ve diğer ilgili bilimsel bilgiler karşılaştırılarak irdelenmiştir.

3. BULGULAR

Fotokromik camın koyulaşma derecesi genel olarak %10-35, %25-50, %30-70 ve benzeri rakamlarla ifade edilir. İlk rakam camda etkin ışık etkisi olmadan cam renginin koyuluğu, ikinci rakam ise etkin ışıktaki maksimum koyulaşma ile oluşabilecek koyuluğu ifade etmektedir. Koyuluk ile tanımlanan ise içinden geçen ışığın % kaçını engellediğidir. Örnek olarak %25 koyuluğu olan bir camdan üzerine düşen ışığın %75'i geçebilmektedir. Görme kalitesi açısından %80'in üzerinde cam koyulukları pratikte kullanılmamaktadır. Bu koyulukta görme kalitesi çok düşmektedir. Özel durumlarda önerilen, üzerine düşen ışığın sadece %2-4 kadarını geçiren gözlük camları da vardır. Ancak bu camlarda içinden geçen ışığın azaltılması %75-80 koyuluk oranı olan camın üzerine ek özellikler uygulanarak başka yöntemler (polarizasyon, v.b.) ile yapılmaktadır. Fotokromik teknolojinin özelliği gereği koyulaşma görece hızlı olurken, koyulaşmış camın karanlıkta yeniden açık hale gelmesi 4-10 kat daha uzun sürebilmektedir [2]. Önceleri bu süreler dakikalar seviyesinde iken, günümüzde saniyeler seviyesinde olabilmektedir.

Bir fotokromik gözlük camı aracılığıyla filtreleme eklemek, camı takan bireylerin yoğun geniş bant ve kısa dalga aydınlatma koşullarıyla başa çıkma ve yoğun bir fotostres ile karşılaştıktan sonra normal görmeye geri dönme yeteneklerini önemli ölçüde arttırdı [3]. Fotokromik cam konvansiyonel olarak ultraviyole ışınlar üzerinden aktive olan bir teknolojidir. Camdaki koyulaşma görünür ışığın geçmesini azaltmasına rağmen, camın koyulaşması ultraviyole ile sağlanır [1]. Aydınlatmanın gözü rahatsız ettiği seviyeler gün ışığı ve güneş ışığı seviyeleridir ve kapalı alan aydınlatma seviyelerinin çok üzerindedir. Konvansiyonel sistemde sadece bu şartlarda devreye girmektedir. Ultraviyole doğal olarak güneş ve gün ışığı olan ortamlarda olduğu için konvansiyonel sistem uygun bir şekilde çalışmaktadır.

Binek araçlarında geçmişte normal cam olarak üretilen ön ve yan camlar nedeniyle kaza anlarında camın kırılması ile ciddi yaralanmalar ve ölümler oluşabilmekte idi. Ön camın kırılması ayrıca göz kaybına kadar gidebilen göz küresi delinmelerine de neden olabilmekte idi. Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu'nun (UN/ECE) 43 No'lu Yönetmeliği "Güvenlik cam malzemelerinin onaylanması ve bunların araçlara montajına ilişkin tek tip hükümler" ile araç camlarının kırılmaya görece dayanıklı güvenli cam olması şartı getirilmiştir. [4] ECE R43 standartı ile araç ön camları temperli (toklaştırılmış) cam, işlenmiş lamine cam, lamine cam ve cam plastik olabilir. Genelde işlenmiş lamine cam kullanılmaktadır. Ön camlar dışındaki camlar ise temperli (toklaştırılmış) cam, işlenmiş lamine cam, lamine cam ve cam plastik olarak üretilmektedir. Tüm bu camların başka bir ortak özelliği ise ultraviyole geçişinin hem insana olası etkilerinin düşürülmesi hem de araç içi malzemelerin daha az yıpranması için azaltılmış olmasıdır.

UN/ECE R43 gereği olan ultraviyole ışınların azaltılmasının bir başka sonucu ise araç içine konvansiyonel fotokromik camların koyulaşmasını sağlayacak seviyede ultraviyole girişi olmamasıdır. Diğer bir deyişle konvansiyonel fotokromik camlar araç içinde koyulaşmazlar. Gün ışığında araç kullanırken koyulaşmış gözlük camı arzulayan sürücüler için dezavantaj olan bu durum, gün ışığında araç kullanırken tünellere girilmesinde bir avantaj haline gelmektedir. Tünel aydınlatması tanımında beş bölge tanımlanır. Erişim bölgesi, eşik bölgesi, geçiş bölgesi, iç bölge ve çıkış bölgesidir. Tüm bu bölgelerde aydınlatma sürücünün tünel içindeki görece karanlığa alışmasına yönelik uygulanmaktadır. Bu nedenle gündüz ve gece tünellerde önerilen / uygulanan aydınlatma şartları da farklıdır. Önerilen parıltı miktarları (normal olduğu düşünülen) sürücü gözünün karanlığa alışma süreci ile uyumludur. Bu bölgelerdeki aydınlatmanın özelliği ise, enerji tasarrufu açısından ise fizyolojik olarak gerekli parıltı sınırlarında olmasıdır.

Nanoteknolojinin son on yıllardaki hızlı gelişmesi ile görünür ışık ile koyulaşan fotokromik camlar da üretilmiştir. Bu özelliğe sahip camlar ultraviyole geçirmeyen camlara sahip araçlar içinde de koyulaşabilmektedir. Gün ışığı veya güneşte sürüş güvenliği açısından avantaj sağlayabilecek olan bu camlar, tünele girildiğinde ise dezavantaj oluşturabilirler. Gün ışığında maksimum seviyede % 30-50-75 seviyelerinde koyulaşmış olan fotokromik camlar ile tünele girmek, normal insan gözüne göre ayarlanmış tünel aydınlatma seviyelerindeki parıltının yetersiz kalmasına neden olabilecektir. Modern fotokromik camlarda koyulaşmış cam renginin yeniden açılması görece hızlı olsa da tünele giren bir sürücünün tünelin giriş bölümlerinde ihtiyacı olan parıltının göze ulaşmasını engellemeyecek seviyede değildir.

Araç kullanırken sürücüyü etkileyen bir diğer özellik ise sürücünün net görmek için numaralı fotokromik gözlük camlarına ihtiyaç duyup duymamasıdır [5]. Eğer sürücü diyoptrisiz bir güneş gözlüğü veya fotokromik cam takıyor ise, gözlüğü çıkartması ile tünel girişindeki olası gözlük camı koyuluğu nedeniyle oluşacak karanlığı egale edebilir. Eğer sürücü numaralı gözlük camına ihtiyaç duyuyor ise ve gün ışığına duyarlı fotokromik cam takıyor ise, tünel girişinde gözlüğü çıkartırsa gözündeki düzeltilmemiş kırılma kusuru nedeniyle, çıkartmaz ise koyulaşmış camın ek karanlık etkisi nedeniyle yeterince iyi göremeyecektir.

4. SONUÇ

Numaralı ve gün ışığına duyarlı fotokromik gözlük camları takan araç sürücüleri için gündüz araç kullanırken tünellere girmek, ani oluşan görece karanlık ve fotokromik camın renginin yeterince hızlı açılmaması nedeniyle tehlikeli olabilir.

KAYNAKÇA

1. Optik Refraksiyon Rehabilitasyon – Temel Bilgiler. Türk Oftalmoloji Derneği Eğitim Yayınları. No:12. İçinde: Gözlük Camı Materyalleri ve Kaplamalar. Güneş Gözlükleri. Çakıcı, F. Birinci Baskı, İstanbul, 292-304, 2010.
2. Eppig T, Speck A, Gillner M, Nagengast D, Langenbucher A. Photochromic dynamics of ophthalmic lenses. Appl Opt., Jan 10;51(2):133-8, 2012.
3. Renzi-Hammond LM, Hammond BR Jr. The effects of photochromic lenses on visual performance. Clin Exp Optom., Nov;99(6):568-574, 2016.
4. Regulation No 43 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE) — Uniform provisions concerning the approval of safety glazing materials and

their installation on vehicles. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/6d819756-93c0-11e3-bf99-01aa75ed71a1> . 08.08.2021.

5. Glavas IP, Patel S, Donsoff I, Stenson S. Sunglasses- and photochromic lens-wearing patterns in spectacle and/or contact lens-wearing individuals. Eye Contact Lens. Apr;30(2):81-4, 2004.

ATIK LAMBA GERİ KAZANIM PROSESLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE TEKNİK KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ

Ş. Samet Kaplan¹, M. Şeref Sönmez², Zeynep Akkaya³, Elif Kara⁴, Mustafa Çetin⁵

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, kaplans16@itu.edu.tr

² İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, ssonmez@itu.edu.tr

³ Aydınlatma Gereçleri İmalatçıları Derneği, AGİD, zeynep.akkaya@agid.com.tr

⁴ Aydınlatma Gereçleri İmalatçıları Derneği, AGİD, elif.kara@agid.com.tr

⁵ Aydınlatma Gereçleri İmalatçıları Derneği, AGİD, mustafa.cetin@agid.com.tr

Bu çalışmanın amacı ülkemizdeki atık lamba yönetiminin teknik açıdan değerlendirilmesi, dünya genelinde yapılan uygulamaların incelenmesi ve ülkemizde uygulanan yöntemlerde yapılabilecek iyileştirmelerin öneri şeklinde sunulmasıdır. Piyasada en çok kullanılan ve dolayısıyla en fazla atık üretilen lamba çeşidi floresan lambalardır ve ihtiva ettikleri cıva sebebiyle düzenli toplanıp cıvasının giderildikten sonra bertaraf edilmesi gerekmektedir. Ülkemizde floresan lambalar Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği (AEEE) gereğince lisanslı firmalar tarafından toplanıp bertaraf edilmektedir. Lisanslı işleme tesislerinin hemen hemen hepsinde lamba geri dönüşümü için varil tipi kırma sistemi bulunmaktadır. Bu sistem anlık olarak buharlaşan cıvayı hapsedse de lambadaki bütün cıvayı yakalamak için yeterli değildir. Yapılan literatür araştırmasında kırılma anında ortama salınan cıva lambada bulunan cıvanın maksimum %15'i kadardır. Geri kalan cıvanın büyük kısmı fosfor tozunda (~%80), küçük bir kısmı (~%5) da cam ve metal kapaklarda kalmaktadır. İstanbul Teknik Üniversitesi'nde yapılan analiz neticesinde de lambadaki cıvanın yaklaşık %80 oranında fosfor tozunda kaldığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlardan anlaşılmaktadır ki sadece vakum atmosferinde kırılmış floresan lambalar cıvadan tam manasıyla temizlenememektedir. Kırma işleminden sonra cıva giderme işlemi (distilasyon gibi) uygulanması gerekmektedir. Ayrıca bu atıklar kıymetli hammadde kaynağı olarak da değerlendirilmelidir.

Anahtar kelimeler: Floresan Lambalar, Geri Dönüşüm, Cıva, Nadir Toprak Elementleri, AEEE

Fluorescent Lamp Recycling Process Improvement, and Determination of Technical Criteria in Turkey

The aim of the study is to elaborate lamp recycling industry in Turkey from technical point of view by comparing worldwide applications, and exploit results as a suggestion. The highest amount of scraps in lightening equipment are produced from fluorescent lamps, and because of their toxic mercury contents, they should be collected by authorized companies, and be disposed by them. In our country, most of the authorized companies use only vacuum crashing machine, no further mercury treatment is applied to lamp scraps after crushing. This technique is only capable of capturing small amount of mercury in whole lamp. According to literature, maximum %15 of mercury in lamp can be captured by this kind of crushers. Other 85% of mercury are left in other parts of lamp, especially in phosphorus powder. According to lab studies at Istanbul Technical University, around 80% of whole mercury in lamp is found in phosphorus powder. So, it is obvious that after crushing fluorescent lamps under vacuum atmosphere, remaining parts mainly glass, metal caps, phosphorus powder should be cleaned from mercury contaminant. These scraps should also be evaluated from valuable raw material source.

Keywords: Fluorescent Lamps, Recycling, Mercury, Rare Earth Elements, WEEE

1. GİRİŞ

Dünyada her geçen gün atık Elektrikli ve Elektronik Eşya (EEE) miktarı hız kazanarak artmaktadır. Bu sebeple 2002 yılında Avrupa Birliği bir direktif yayımlamıştır. Waste Electrical, and Electronic Equipments (WEEE) bu direktif ile beraber bir de EEE'de zararlı

maddelerin kullanımı kısıtlayan Restriction of Hazardous Substances (RoHS) direktifini yayımlamıştır. Bununla birlikte bütün Avrupa ülkeleri kendi iç yönetmeliklerini oluşturmuşlardır. Ülkemizde de 2012 yılında Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği (AEEE Yönetmeliği) yayımlanmış ve yürürlüğe koyulmuştur. Bu yönetmelik kapsamında ülke çapında yetkilendirilmiş kuruluş ve lisanslı firmalar aracılığıyla AEEE toplanmış ve bertarafı sağlanmıştır. Aydınlatma ekipmanları da bu yönetmelik kapsamında değerlendirilen bir ürün grubudur. Aydınlatma ekipmanları çok geniş bir tanımdır. Ancak çalışmamızda piyasada en çok kullanılan floresan, LED ve gaz deşarjlı lambaların geri dönüşüm sistemleri irdelenmiştir. Lamba geri dönüşüm sistemleri incelenirken gerek bilimsel literatür gerekse dünyadaki dönüşüm firmalarının prosesleri incelenmiş ve birtakım laboratuvar deneyleri yapılarak elde edilen veriler doğrulanmıştır.

2. FARKLI LAMBA ÇEŞİTLERİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ VE İÇERİKLERİ

Bu bölümde farklı lambaların çalışma prensipleri ve bileşenleri hakkında genel bilgi verilecektir.

2.1 LED Lamba Bileşenleri ve Çalışma Prensibi

Ekonomik olmaları ve cıva gibi zararlı bileşenler içermemeleri sebebiyle, LED lambalar günümüzde kullanımı giderek artan ve gelecekte aydınlatma ekipmanları içerisinde en büyük pazar payına sahip lambalar olması beklenmektedir. Kısaca çalışma prensibi elektron-boşluk (electron-hole pairs) arasındaki etkileşime dayanmaktadır. Yüksek enerjili uyarılmış elektronlar, bir alt enerji seviyesine geçerken enerjilerinin bir kısmını ışık (ısıma) olarak ortama verirler. Bu şekilde aydınlatma görevini yerine getirirler.

LED lambaların kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Dolayısıyla yakın gelecekte büyük bir atık kaynağı olacaklardır. Floresan lambalar gibi cıva içeriği olmasa da LED'ler birçok kıymetli metal içermektedir. Bu metallerin geri kazanımına dair yeni teknolojilerin geliştirilmesi gerekmektedir. Geri dönüşüm tesislerine gelen atık LED lambalar, ayrıtılmasındaki güçlüklerden dolayı genellikle floresan ve diğer lambalar ile karışık olarak gelmektedir. Bu sebeple LED lamba geri kazanımında akıllı ayırma teknolojilerine büyük önem verilmesi gerekmektedir. LED lambalar evropiyum (Eu), itriyum (Y), seryum (Ce) gibi Nadir Toprak Elementleri (NTE), indiyum (In), galyum (Ga) gibi teknoloji metalleri, altın (Au), gümüş (Ag) gibi kıymetli metal içermektedirler. Bu metaller lambanın küçük bir bölümünde toplanmışlardır (LED paketleri). Bu parçaların diğer bileşenlerden ayrıştırılması metallerin etkin bir şekilde geri kazanımı için kritik öneme sahiptir. Fraunhofer Enstitüsü ve Darmstadt Üniversitesi tarafından yapılan çalışmada, LED lambaların bileşenlerini elektrohidrolik ayrıştırma yöntemiyle birbirinden ayırmışlardır. Aynı çalışmada LED lamba bileşenleri ve kütlece yüzdeleri şu şekilde verilmiştir ; Soğutma bileşenleri (%42), kılıf housing (%21), elektronik (%16), cam (%15), LED modülü (%4), soket ve kontaklar (%3) [1].

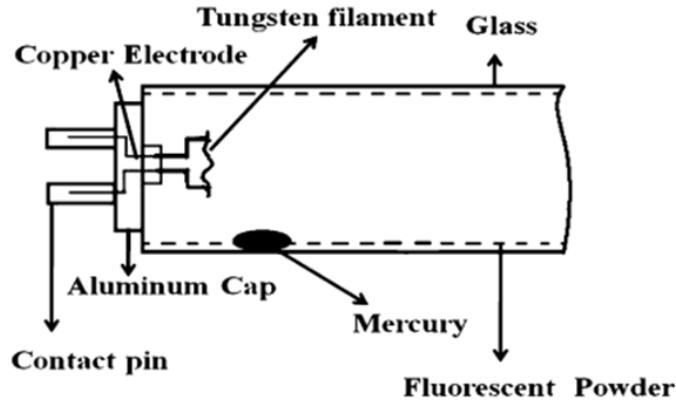
2.2. Gaz Deşarjlı Lambalar

Bu tip lambalar oldukça etkili (watt başına 150 lümen) ve ekonomik aydınlatma yapabildiklerinden dolayı sokak, fabrika, spor salonları, futbol sahaları gibi büyük alanların aydınlatmasında kullanılmaktadırlar. Temel olarak çalışma prensipleri bir tüp içerisinde sıkıştırılmış gazın elektrotlar ile uyarılarak ışıma yaptırılmasına dayanmaktadır. Kullanılan gazın cinsi, miktarı gibi etkenler lambanın gücünü, parlaklığını ve rengini etkilemektedir.

Gaz deşarj lambalar da belli bir miktar cıva içermektedirler. Cıva içeriğinin lamba başına 20 mg'den daha fazla olduğu durumlar da söz konusudur ki bu değer floresan lambalar için en fazla 5 mg olabilmektedir. Bu sebepten dolayı gaz deşarjlı lambaların da geri kazanım sürecinde cıva giderme işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Bu tip lambaların floresan lambalardan yapısal olarak farkı cıvanın seramik bir tüp içerisinde bulunmasıdır. Bu tüp ayrı bir şekilde toplandığında cıva diğer bileşenlere bulaşmadan toplanabilmektedir. Tüpün ayrı olarak toplanması uygulamada bir takım zorluklar içerse de üretilen atık hacminin az olması göz önüne alındığında, ayrı olarak toplanması uygulanabilir olacaktır.

2.3. Floresan Lamba Çalışma Prensibi ve Bileşenleri

Floresan lamba terimi lambanın iç yüzeyinin floresan ışıma yapabilen malzeme (genellikle kalsiyum hidrojen fosfat kullanılır) ile kaplanmasından gelmektedir. Cam tüpün iki ucunda tungsten filamentler bulunur ve bunlar elektron kaynağı olarak kullanılabilecek metaller (Nikel, stronsiyum, kalsiyum oksit gibi) ile kaplanır. Elektronların cam tüpün içinde kolayca hareket edebilmesini sağlamak amacıyla da tüpün içerisi %99 saflıkta argon gazı ve uygun miktarda sıvı yada katı cıva ile doldurulur. Cam tüpün iki ucundaki elektrotlar vesilesiyle uygulanan potansiyel fark ile cıva ultraviyole ışıma (253,7 nm dalga boyunda) yapar ve bu ışıma cam üzerine kaplanmış fosfor tozunu uyararak görülebilir ışık (400-700 nm dalga boyu) üretilmesini sağlar. Floresan lambalar genel olarak şu bileşenlerden oluşur ; Elektrot (bakır ve tungsten filament), kapak (alüminyum), cam, gaz (argon yada kripton), fosfor tozu. Floresan lamba bileşenleri şekil 1'de verilmiştir [2].

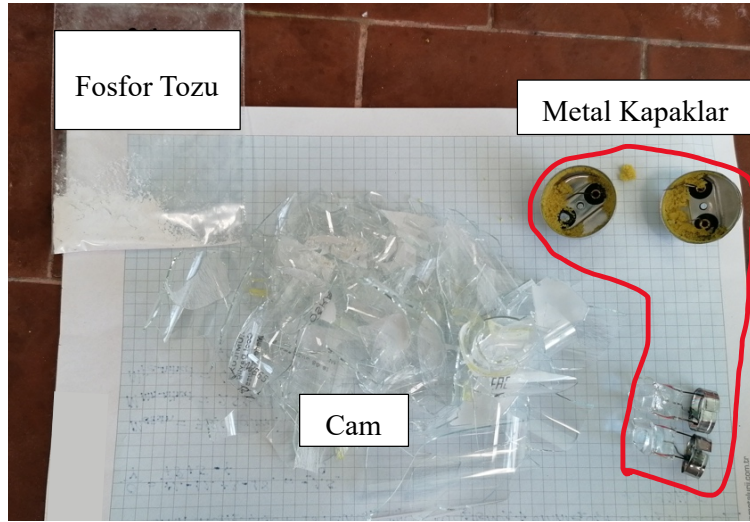


Şekil 1. Floresan lamba bileşenleri [2].

Floresan lamba bileşenlerinin kütlece yüzdelere dair elde edilen birkaç literatür bilgisi tablo 1'de verilmiştir. AGİD tarafından temin edilen, laboratuvarında kırılarak şekil 2'de gösterildiği gibi cam, metal ve fosfor tozu olmak üzere 3 ana grupta toplanmıştır. Kütlece yüzde bileşimleri ortalama %90 Cam, %8,5 metal %1,5 fosfor tozu olarak bulunmuştur.

Tablo 1. Floresan lamba bileşenlerinin kütlece yüzdeleri (literatür) [3].

	A Firması	B Firması	C Firması	Ortalama
Cam	86,8	86,1	83,5	85,46
Fosfor Tozu	1,5	1,8	1,9	1,73
Metal Kapak	11,7	12,2	14,6	12,83



Şekil 2. Deneysel çalışmalarda elde edilen floresan lamba bileşenleri.

3. FLORESAN LAMBA GERİ DÖNÜŞÜMÜ VE CIVA GERİ KAZANIMININ ÖNEMİ

3.1. Atık Floresan Lamba Geri Dönüşümü ve Dünyadan Örnek Prosesler

Çalışmanın bu kısmında farklı ülkelerdeki geri dönüşüm firmalarının prosesleri incelenerek özetlenmiş, tesis gereklilikleri gibi konular incelenmiş ve tam bir floresan lamba geri dönüşüm sistemi nasıl olması gerektiği özetlenmiştir.

Floresan lamba geri dönüşümünde %88 geri dönüşüm oranıyla Tayvan dünyanın önde gelen ülkelerindendir. Tarihsel olarak bu ülkede ciddi cıva zehirlenmeleri yaşanmıştır. Belki de bu sebepten ötürü en yüksek geri dönüşüm oranına sahip ülkedir. Örnek vermek gerekirse, 1999 yılında Tayvan'ın Pingtung şehrinde 8300 ton ham plastik atıkların yakılmasından kaynaklı ciddi cıva zehirlenmeleri yaşanmış ve şehir sakinleri yer altı sularını kullanmaktan korkar hale gelmişlerdir [4]. Literatürde Tayvan'daki geri dönüşüm sistemi ve detayları ile alakalı birçok kaynak bulunmaktadır. Tayvan'da geri dönüşüm tesisi için lisans alabilmek için gerekli koşullar şu şekildedir ;

1. Toplanan floresan lambalar kırılmaları önlemek için kapalı konteynerde tutulmalıdır.
2. Stok sahaları kirlenmeleri önlemek için her zaman temiz tutulmalıdır.
3. Atık floresan lambaların stok sahasının tabanı yer altı sularının kirlenmesini önlemek amacıyla su geçirmez olmalıdır.
4. Atık floresan lambaların stok sahasında gerekli görsel uyarılar bulunmalıdır.
5. Atıkları taşıyan araçlar gerekli şekilde etiketlenmelidir.
6. Atık floresan lambalar yurtiçinde işlenmelidir. Ancak direk yakma yahut gömme yasaktır.
7. Atık floresan lamba işleme tesislerinde cıva geri dönüşüm sistemi ve cıva analiz cihazı bulunmalıdır. 0,001 mg/m³ hassasiyette cıva analiz cihazı bulundurulmalıdır.
8. Tesisin toplam faaliyet alanı 21.600 ft²'den (yaklaşık 2.000 m²) , floresan lamba işleme kısmı 10.800 ft²'den (yaklaşık 1.000 m²) az olmamalıdır.
9. Tesislerde yağmur suyu giderleri ve atık su önleme sistemleri olmalıdır.
10. Atık floresan lamba işleme makinaları çatısı güçlü ve beton duvarları olan kapalı mekanlarda olmalıdır.

Tablo 2. Farklı firmalardaki floresan lamba bertaraf sistemleri [2].

Ülke	Şirket	Metal ayırma	Floresan tozunun ayrılması	Cıva ayırma yöntemi	Cıva kazanımı
Japonya	Namura Kohsan Co. Ltd	Kırma ve ayrıştırma	Islak temizleme	Islak temizleme yöntemi / aktif karbon	Kuru distilasyon
	Nippon Kyokuto Kaihatsu Kogyo Co. Ltd	Tüp kırma	Hava üfleme	Aktif karbonla adsorpsiyon	Cıva içeren malzemeler Nomura Kohsan Co. Ltd. şirketine gönderilir.
	Nippon Daiso	Elmas kesme	Su yıkama	Aktif karbonla adsorpsiyon / kuru yöntem / yaş yöntem	Cıva içeren malzemeler Nomura Kohsan Co. Ltd. şirketine gönderilir.
İsveç	Mercury Recovery Technology (MRT)	Alev kesme	Hava üfleme	Üfleme ve filtre torbalarında toplama / Aktif karbonla adsorpsiyon	Distilasyon
Almanya	Werec	Alev kesme	Sıkıştırılmış hava üfleme	Titreşimli akışkan yatak	Aktifleştirilmiş kömür filtresi
ABD	AERC	Kesme	Kırma ve ayırma	Yakma	Üçlü distilasyon prosesi

3.2. Atık Floresan Lambalarda Bulunan Cıvanın Geri Kazanmanın Önemi

Cıva toksik olmasından dolayı doğaya karışmasının önlenmesi gerekmektedir. Bu sebeple cıva içeren floresan lambalar da usulüne uygun bir şekilde bertaraf edilmesi gerekmektedir. Olması gereken akım şeması bir önceki bölümde açıklanmıştır. Bu bölümde daha çok cıvanın kırılan floresan lambanın hangi parçalarda kaldığını gösteren bilimsel literatür araştırması özetlenmiş ve en sonunda da üniversitede yapılan deneylerin sonucu paylaşılmıştır.

Cıva geri kazanımı hakkında yapılan bilimsel araştırmalar incelendiğinde görülmektedir ki lambalarda kullanılan cıvanın en az %85'i fosfor tozunda kalmaktadır. Kırıldığı esnada açığa çıkan cıva ise kullanılan cıvanın en fazla %15'dir. Bazı literatür çalışmalarında kırılma esnasında açığa çıkan cıva miktarı lamba yapımında kullanılan cıvanın sadece %1'i olduğu bilgileri de yer almaktadır. Dolayısıyla lamba geri dönüşümünden sonra elde edilen fosfor tozunun muhakkak cıva işleme tesisinde cıvasının giderilmesi gerekmektedir. Bu mümkün değilse cıvan içeren atıklar yönetmeliğine uygun şekilde bertarafının sağlanması gerekmektedir.

Wisconsin-Madison Üniversitesinde yapılan bir çalışmada atık ve kullanılmamış T8 ve T12 tipi floresan lambaların cıva içerikleri hakkında tablo 3'te verilen sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre cıvanın %95'inden fazlası fosfor tozunda kalırken ortalama %0,1'i kırılma esnasında havaya karışmaktadır [6].

Yadong Li ve Li Jin tarafından yapılan başka bir çalışmada, kırılan bir floresan lambanın 10 hafta boyunca ortama cıva salabileceği ve bunun sağlığa zararlı olabilecek 1 mg seviyesine ulaştığını ortaya konmuştur [7].

Tablo 3. T8 ve T12 tip floresan lamba bileşenlerinde cıva bulunma yüzdeleri [6].

	Kullanılmış T8 lamba (%)	Kullanılmış T12 Lamba (%)	Yeni T12 Lamba (%)
Alüminyum kapaklar	2,07	0,5	0,09
Fosfor tozu (kırıldığı esnada dökülen)	2,86	5,34	2,72
Fosfor tozu (cama yapışmış)	95,08	94,12	97,02
Hava	Tespit edilemedi	0,04	0,17

2014 yılında Waste Management dergisinde yayımlanan bir makalede cam, fosfor tozu ve metal kapaklarda kalan cıvanın farklı çalışmalarda kütlece yüzde dağılımı tablo 4'te verilmiştir. Aynı çalışmada düz floresan lambalarda kırılma esnasında açığa çıkan cıva lambada bulunan toplam cıvanın %2-%14 arasında değişken olarak bulunmuştur [3].

Tablo 4. Farklı çalışmalarda elde edilen floresan lamba bileşenlerinde cıvanın bulunma yüzdeleri.

	Düz floresan lamba Literatür A [3]	Literatür B [6]	Kompakt Floresan Lambalar Literatür C [8]	Literatür D [9]
Cam	% 15,19	% 8,27	% 13,66	% 16,27
Fosfor Tozu	% 81,36	% 89,35	% 85,76	% 87,23
Metal Kapaklar	% 3,45	% 2,36	---	---

Üniversitemizde yapılan cıva analizi sonuçları da literatür verileri ile uyusmaktadır. Literatürdeki tekniklere uygun olarak yapılan cıva analizinde, lamba kırıldıktan sonra **lambadaki toplam cıvanın yaklaşık %80'inin fosfor tozunda kaldığı tespit edilmiştir.** Bu sonuçlar ışığında sadece lamba kırıldığında açığa çıkan cıvanın tutulması değil daha sonrasında lamba bileşenlerinde özellikle fosfor tozunda kalan cıvanın geri kazanılması gerektiği anlaşılmaktadır.

4. FLORESAN LAMBA ATIKLARINDAN NTE'NİN (NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ) KAZANILMASI ÜZERİNE SON YILLARDAKİ ÇALIŞMALAR

Fosfor tozunun içerisinde Ce (Seryum), Eu (Evropiyum) , Y (İttriyum) ve Tb (Terbiyum) gibi kıymetli ve aynı zamanda stratejik hammaddeler bulunmaktadır ve bu elementlerin kullanılması teknik bir zorunluluktur. Eu Y ve Tb'nin de içinde bulunduğu 17 adet element Nadir Toprak Elementleri (NTE) olarak isimlendirilmektedir. Bu elementler AB, ABD, Kanada ve daha birçok ülke tarafından en yüksek tedarik riskine sahip hammadde olarak tanımlanmıştır. Ülkemizde halihazırda işletilen NTE madeni bulunmamaktadır. Dolayısıyla önemli bir hammadde kaynağı olan AEEE, özellikle floresan lambalardan elde edilen fosfor tozundan NTE'nin kazanılması stratejik bir gerekliliktir. Bu sebepten çalışmamızda literatürde yapılan bir takım NTE geri kazanım çalışmalarına da yer verilmiştir.

Waste Management dergisinde yayımlanan bir çalışmadaki verilere göre 2017 yılında, Avrupa'da 0,2 milyon ton fosfor tozu bertaraf sahalarında gömülmüştür. Fosfor tozları %30-50 arasında NTE içermektedirler. Yapılan çalışmada fosfor tozundan NTE katı hal klorlama yöntemiyle geri kazanılmıştır. Bu yöntemde fosfor tozu, kuru klor gazı ile klorlanarak suda çözünabilir hale getirilmiş ve böylelikle NTE'nin karmaşık çözünme kimyasının getirdiği dezavantaj ortadan kaldırılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde %95,7 Y ve %92,2 Eu elementini geri kazanılmıştır [16].

Fosfor tozunun direk liç edilmesi bazı NTE'nin (Ce ve Tb) geri kazanılmasında etkili bir

yöntem olmadığından, Shukla N. tarafından yapılan çalışmada fosfor tozundan alkali kavurma prosesi kullanılmıştır. Bu proses neticesinde NTE'nin bağlı olduğu empüriteler suda çözünebilir forma geçmektedir. Daha sonrasında %95 üzerinde verimle, NTE içeren toz klorik asit ile çözümlendirilerek geri kazanılmaktadır [17].

Resources, Conservation & Recycling dergisinde yayımlanan Patil A.B. tarafından yapılan çalışmada, fosfor tozu İsviçreli BLUBOX tarafından temin edilmiş. Firmanın sahip olduğu altyapı sayesinde cıva %90 oranında fosfor tozundan uzaklaştırılsa da toz içerisinde hala bir miktar cıva kalmaktadır. Bu cıva konsantrasyonunu 10 mg/L'nin altına düşürmek amacıyla 540°C'de 4-5 saat boyunca işleme tabi tutmuşlardır. Elde edilen cıvadan arındırılmış fosfor tozu kademeli çözümlendirme işlemine tabi tutularak her bir fosfor türünün (HALO : $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{FCl:Sb}^{+3}, \text{Mn}^{+2}$, YOX : $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$, LAP : $\text{La-PO}_4:\text{Tb}^{+3}, \text{Ce}^{+3}$) ayrı bir adımda çözümlenmesi sağlanmıştır [18].

Brazilya, University of Sao Paulo'da yapılan çalışmada, floresan lamba tozlarının sülfürik asit ile çözümlendirilmesi prosesi FactSage 7.2 yazılımıyla termokimyasal simülasyonunu incelenmiştir. Konsantrasyonun ve çözümlendirme sıcaklığının etkileri belirlenmiştir. Elde edilen termodinamik veriler doğrultusunda floresan lamba tozlarında bulunana itriyumun %95'inin ekstraksiyonu sağlanmıştır [19].

Bir diğer çalışmada ise atık floresan lambalarda bulunan NTE'nin geri kazanımı amacıyla fosfor çamurunun ayırma ve asidik çözümlendirme davranışı incelenmiştir. İlk olarak, NTE ile kalsiyum fosfatın pnömatik ayrıştırma ile ayrılması üzerine çalışmalar yapılmıştır. Ayrıştırma işleminden NTE asidik ve sodyum hidroksitli çözeltilerde çözümlendirilmiştir. Çözeltide bulunan NTE'nin kazanılması için hidroksi ve okzalat çöktürme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda şu verilere ulaşılmıştır: ayrıştırma yöntemiyle fosforda bulunan NTE'nin oranı %13.3'ten %29.3'e çıkartılmıştır. Çözümlendirme deneylerinden sonra ise sülfürik asitin NTE çözümlendirilmesi için en uygun ajan olduğu sonucuna varılmıştır. İtiryum ve yuropiyum için çözümlendirme verimleri sırasıyla %92 ve %98 olarak tespit edilmiştir. Kazanım aşamasında ise itriyum ve evropiyum hidroksit olarak %99.1 verimle çöktürülmüştür [23].

5. SONUÇLAR

Lamba geri dönüşüm sistemlerinin dünyadaki örneklerinin incelendiği, proses ile alakalı literatür taramasının yapıldığı ve araştırmalardan elde edilen verilerin üniversitemizde laboratuvar çalışmalarıyla doğrulandığı çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekildedir:

- Ülkemizde birçok AEEE işleme tesisinde floresan lamba geri dönüşümünde kullanılan varil tipi kırma sisteminin lambada kullanılan toplam cıvanın sadece küçük bir kısmını tutabildiği anlaşılmıştır. **Laboratuvar ortamında yapılan çalışmada, toplam cıvanın %80'inin fosfor tozunda kaldığı tespit edilmiştir.** Bunun anlamı lambanın kırıldığı esnada ortama yaydığı cıva toplam cıvanın maksimum %20'si kadar olduğudur. **Bu sebepten ötürü bütün dünyada uygulanan, lamba bileşenlerinden (cam, metal, fosfor tozu) cıva geri kazanım prosesinin lamba geri dönüşüm sürecine eklenmesi gerekmektedir.**

- Cıva distilasyon sisteminin gerekliliği gerek yapılan literatür araştırmasında gerekse yapılan deneysel çalışmalar neticesinde net bir şekilde anlaşılmıştır. Bu sistemin (cıva distilasyonu) kurulması nispeten maliyetlidir. **Daha etkili ve kar edilebilir bir sistem kurmak adına iki kademeli (Ön İşleme ve Geri Kazanım Tesisleri) lisanslama sistemi teklif edilmektedir.**

Lambaların güvenli bir şekilde kırılması, depolanması ve sevkiyatından sorumlu olacak ön işleme tesisi ve distilasyon, nihai satılabilir ürünlerin elde edildiği geri kazanım tesislerinin kurulması ülkemizdeki lamba geri dönüşüm sistemini en etkili hale getireceği öngörülmektedir.

- Mevcuttaki floresan lamba geri dönüşüm sisteminden çıkan atıkların cıvadan tam manasıyla temizlenmediği yapılan çalışmalar neticesinde anlaşılmıştır. Dolayısıyla bu atıkların cıva içeren atık kapsamına alınması gerekmektedir. İlgili kurumlar ile iş birliği yapılarak bu atıklar içerisinde bulunabilecek maksimum cıva miktarı belirlenmeli ve bu değerin üzerinde cıva içeren atıkların bertarafı ilgili yönetmelik kapsamında yapılmalıdır.

- Floresan lambalar birçok kıymetli metal içermektedirler. Bunlar alüminyum, bakır gibi hali hazırda endüstrisi bulunan metaller ve kritik hammaddeler arasında yer alan Nadir Torak Elementleridir (NTE). **Tedarik riski yüksek bu elementlerin lamba atıklarından elde edilmesi, halihazırda işletilen bir NTE madeni olmayan ülkemiz için yüksek katma değere sahip bir çalışma olacaktır.**

- LED lambalar da floresan lambalar gibi birçok kıymetli metal içeriğine sahiptirler. Ancak LED geri dönüşümü için dünya çapında henüz oturmuş bir sistem yoktur. **Yakın gelecekte yüksek miktarda atık oluşacak bu kıymetli atık türü için ülkemizde geri dönüşüm sisteminin oluşturulması ekonomimiz adına iyi bir yatırım olacağı aşikardır.**

KAYNAKÇA

1. A. Gassmann, J. Zimmermann, R. Gauß, R. Stauber, O. Gutfleisch, LED Lamps Recycling Technology for a Circular Economy. <https://www.led-professional.com/resources-1/articles/led-lamps-recycling-technology-for-a-circular-economy>, 2016.
2. C.H. Lee, S.R. Popuri, Y.H. Peng, S.S. Fang, K.L. Lin, K.S. Fan, T.C. Chang, Overview on industrial recycling technologies and management strategies of end-of-life fluorescent lamps in Taiwan and other developed countries, J. Mater. Cycles Waste Manag. 17, 312–323. doi:10.1007/s10163-014-0253-y, 2015.
3. S.-W. Rhee, H.-H. Choi, H.-S. Park, Characteristics of mercury emission from linear type of spent fluorescent lamp, Waste Manag. 34 (2014) 1066–1071. doi:10.1016/J.WASMAN.2013.07.029.
4. K.-W. Huang, K. Arizono, Y. Yakushiji, J. Kobayashi, Y. Ishibashi, Fluorescent lamp and dry battery recycling technology and the current recycling situation in Taiwan and Japan, J. Environ. Saf. 10, 153–164, 2019
5. Y. Jang, Recycling practices and material flow analysis of mercury-containing fluorescent lamps in Korea, in: World Congr. Expo Recycl., 2015.
6. M. Jang, S.M. Hong, J.K. Park, Characterization and recovery of mercury from spent fluorescent lamps, Waste Manag. 25, 5–14. doi:10.1016/J.WASMAN.2004.09.008, 2005.
7. Y. Li, L. Jin, Environmental Release of Mercury from Broken Compact Fluorescent Lamps, Environ. Eng. Sci. 28, 687–691. doi:10.1089/ees.2011.0027.
8. N. Rey-Raap, A. Gallardo, Determination of mercury distribution inside spent compact fluorescent lamps by atomic absorption spectrometry, Waste Manag. 32, 944–948. doi:10.1016/J.WASMAN.2011.12.001, 2012.
9. É.J. dos Santos, A.B. Herrmann, F. Vieira, C.S. Sato, Q.B. Corrêa, T.A. Maranhão, L. Tormen, A.J. Curtius, Determination of Hg and Pb in compact fluorescent lamp by slurry sampling inductively coupled plasma optical emission spectrometry, Microchem. J. 96, 27–31. doi:10.1016/J.MICROC.2010.01.012.

DAR BANTLI SPEKTRUMA SAHİP GÖRÜNÜR VE UV-C BÖLGEDE İŞİMA YAPAN IŞIK KAYNAKLARI İLE YÜZEY DEZENFEKSİYONU ÜZERİNE ÇALIŞMALAR

F. Belgin Piliçer¹, Orhan Berber¹, Berat Z. Haznedaroğlu², İrem Karamollaoğlu², Gizem Çetin²

¹ EAE Elektrik Aydınlatma Endüstrisi A.Ş., Dilovası, KOCAELİ

² Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü, Bebek, İSTANBUL

LED ışık kaynaklarının gelişmesi ve verimli hale gelmesi ile aydınlatma dışında farklı alan ve ihtiyaçlara yönelik kullanımı da artmaktadır. Özellikle pandemi sürecinde, temas yüzeylerinin hijyeni bulaş riskinin azaltılması bakımından büyük öneme sahiptir. Bu süreçte yüzey temizliğini sağlayabilmek için güçlü kimyasalların kullanımında büyük bir artış gözlenmiştir. Bilindiği üzere güçlü kimyasalların hijyen sağlamanın yanında kullanıldığı ortamda solunum sistemi ve deri üzerinde ciddi tahribatlara yol açabileceği ve uzun vadede çeşitli kronik hastalıklara sebep olabileceği kanıtlanmıştır. Bu çalışmada, görünür bölgede ışık yayan dar bantlı 405 nm dalga boylu ve UV-C bölgede (peak @275nm) ışıma yapan LED çiplerin ışıma miktarları ve literatürde belirtilen, mikroorganizmaların inaktivasyonu için gerekli doz miktarları incelenmiş ve dezenfeksiyon için gerekli süreler hesaplanmıştır. Bu yöntemlerin birbirine göre avantajları ve dezavantajları değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: LED, UV-C, 405 nm, Doz, Yüzey Dezenfeksiyonu

Studies on Surface Disinfection with Narrow Band Visible and Uv-C Spectrum Sources

With the development and increase in efficiency of the LED light sources, their usage increases in different areas, except lighting purpose. The hygiene of exposed surfaces is of crucial importance due to reducing the risk of infection, especially during the pandemic. Significant increment has been observed in the usage of the chemicals for the cleaning of the exposed surfaces, during this pandemic. The studies prove that the chemicals have side effects such as causing irritation on skin, severe respiratory problems and chronic illness for long term, beside providing the hygiene. In this study, LED sources, which have narrow band 405 nm peak intensity at visible region and 275 nm peak intensity at UV-C region, have been evaluated and the dose rate and exposure time for kill and/or inactivation of the microorganism have been determined. The advantages and disadvantages of these inactivation processes have been evaluated.

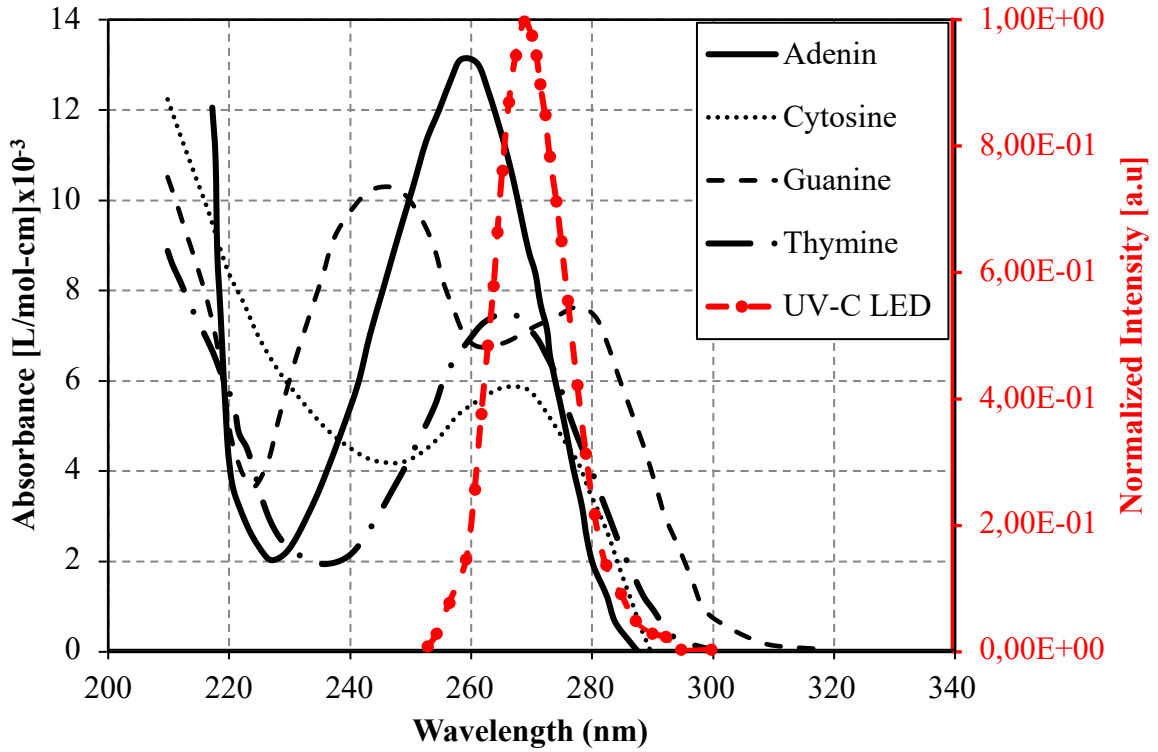
Keywords: LED, UV-C, 405 nm, Dose, Surface Disinfection

1. GİRİŞ

Ultraviyole (UV) ışıma yapan kaynaklar geleneksel kimyasal temizleme süreçlerine alternatif olarak farklı alanlarda uzun yıllardır kullanılmaktadır. UV ışıma kaynağı olarak genellikle cıva katkılı lambalar kullanılırken, LED yapıların gelişmesiyle UV-C bölgede özellikle 260-280 nm bandında ışıma yapan LED'ler yaygınlaşmaya başlamıştır. Pandemi sebebiyle özellikle ortamda bulunan havanın ve temas yüzeylerinin hijyeni büyük bir önem kazanmış ve dezenfeksiyon sağlayan ışıma kaynaklarının kullanımı da artmıştır.

Elektromanyetik spektrumda UV-C bölgede (200–280 nm) yayılan ışınlar hücre çekirdeğindeki nükleit asitler (DNA veya RNA'daki) tarafından soğurulur ve hücrede hasara sebep olur [1].

Nükleotidlerin dalgaboyu spektrumuna karşı soğurma davranışı ve tipik bir UV-C ışıma yapan LED'in dalgaboyu spektrumu Şekil 1'de verilmiştir [1].



Şekil 1. 4 Ana nükleotid için dalga boyuna karşılık soğurma miktarlarının karşılaştırılması

Dezenfeksiyon amacıyla özellikle yüzey dezenfeksiyonu için kullanılmakta olan UV-C dar bantlı ışıma kaynaklarının yanında, son zamanlarda görünür bölgede dar bantlı 405 nm dalga boyuna sahip LED'ler ile yapılan çalışmalar belirli patojen mikroorganizmaların da etkisiz hale getirilebileceğini göstermiştir [2 - 10]. Mikroorganizmalar 405 nm dalga boyuna sahip ışığa maruz kaldıklarında moleküler düzeyde etki gösterirler [5]. 405 nm dalga boyuna sahip foton hücre içerisindeki porfirini uyarır ve mikroorganizmayı pasif hale getirir. Porphirin uyarılması ile hücrede sitotoksik etkiye sahip reaktif oksijen türleri (reactive oxygen species – ROS) oluşur. Bu durum hücrenin pasif hale geçmesine ve/veya ölmesine sebep olur [6,10].

Bu çalışmanın amacı, dar bantlı 405 nm spektruma sahip farklı LED tipleri ile belirlenen özellikle hastane ortamlarında ciddi enfeksiyonlara sebep olan *Staphylococcus aureus* bakterisi üzerindeki etkilerin incelenmesi ve bu yöntemin geleneksel UV-C yöntemine göre avantaj ve dezavantajlarının değerlendirilmesidir.

2. GÖRÜNÜR BÖLGEDE 405 nm IŞIK KAYNAKLARI İLE DEZENFEKSİYON

Mikroorganizmaların maruz kaldığı radyasyon miktarı doz olarak ifade edilir. Doz hesabı için denklem

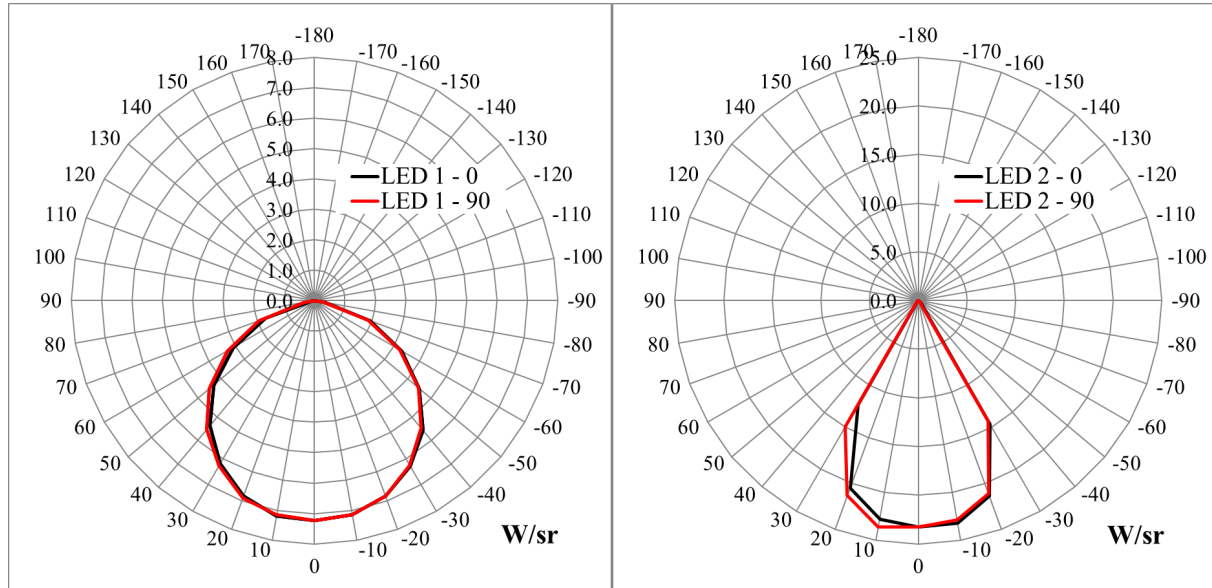
$$D = E_R \cdot t \quad (1)$$

şeklinde verilir. Burada t (exposure time – sec) maruz kalınan zaman, E_R (irradiance – W/m²) radyasyon/aydınlık seviyesi ve D (dose – J/m²) ise doz miktarını temsil etmektedir [1]. Aydınlık seviyesi ışık kaynağına uzaklığın (d) karesi ile ters orantılıdır (Denklem 2).

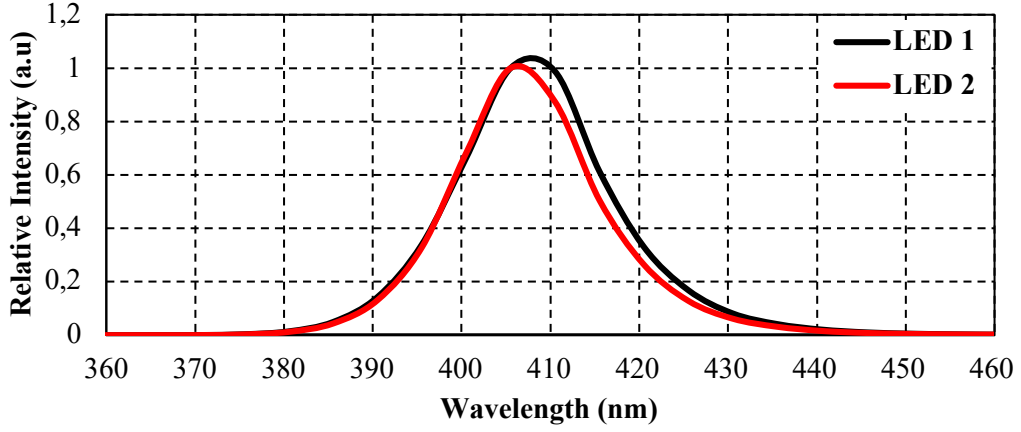
$$E_R \propto \frac{1}{d^2} \quad (2)$$

Halk arasında hastane mikrobu olarak anılan *S. aureus*, patojenik ve gram pozitif bir bakteri türüdür. 405 nm ışık altında, *S. aureus* için, yapılan çalışmalar ve doz miktarları incelenmiştir. Literatürde *S. aureus* bakterisi için, %99.999 azalma için gerekli doz miktarı 0.324 J/mm² [8], %90 azalma için gereken doz ise $1.2 \times 10^{-4} - 1.5 \times 10^{-4}$ J/mm² olarak [5], diğer çalışmalarda ise 0.627 J/mm² ile %90 azalma, 1.25 J/mm² doz ile %99 azalma, 5.4×10^{-4} J/mm² doz ile %99-%99.9 arasında azalma [9], 0.4 J/mm² doz ile %99.999 azalma [10] olduğu kaydedilmiştir. Görüldüğü üzere literatürde yapılan çalışmalar karşılaştırıldığında doz miktarlarında farklılıklar olduğu tespit edilmiştir.

405 nm dalga boyuna sahip farklı LED'lerin güçleri ve ışık dağılımları incelenmiştir. Şekil 2'de 405 nm (peak) sahip 2 farklı LED'in ışık dağılım eğrileri verilmiştir. LED 1 ve LED 2 olarak adlandırılan ışık kaynaklarından LED 1 yaklaşık 110° lik yarı doruk genişliğinde (FWHM – Full Width Half Maximum) ışık dağılımına sahip iken LED 2 yaklaşık 60° (FWHM) ışık dağılımına sahiptir. Aynı LED'lerin spektral dağılımları Şekil 3'de verilmiştir. Spektrum grafikleri incelendiğinde iki LED arasında minimal farklar olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 2. 405 nm peak spektrum dağılımına sahip LED'lerin açısal dağılımları.



Şekil 3. LED 1 ve LED 2 için dalga boyu dağılımları

Literatürde belirtilen doz değerlerine uygun olarak prototip LED modüller tasarlanmıştır. İki farklı ışık dağılımına sahip LED'lerin farklı uzaklıklarda ve farklı sürelerde sağladıkları doz miktarları hesaplanmıştır (Tablo 1). Hesaplamalar LED'lerin ışık dağılım verileri ve güç değerleri üzerinden yapılmıştır. Işık dağılımlarının farklılıklarından dolayı detektöre düşen radyasyon miktarları farklılık göstermektedir. Hazırlanan prototipler üzerinden yapılan ölçümler ile elde edilen 24 ve 48 saatlik, 60 mm çapındaki petri kabı yüzeyine düşen ortalama doz miktarları Tablo 2'de verilmiştir. Farklı LED'ler ile hazırlanan prototiplerde LED'lerin akıları aynıdır. Işık dağılımındaki farklılıktan dolayı doz miktarlarında yaklaşık 2.5-3 kat farklılık ortaya çıkmaktadır. Diğer taraftan kavramsal tasarım aşamasında hesaplanan doz değerleri ile ölçümler üzerinden elde edilen değerler arasında yaklaşık %10'luk bir sapma olduğu gözlenmiştir.

Tablo 2. Petri kabı yüzeyine düşen doz miktarları

	Hesaplanan Doz (J/mm ²) 50 cm / 24 saat	Hesaplanan Doz (J/mm ²) 125 cm / 24 saat	Ölçülen Doz (J/mm ²) 50 cm / 24 saat	Ölçülen Doz (J/mm ²) 125 cm / 24 saat
LED 1	2.42	0.393	2.11	0.45
LED 2	6.48	1.12	5.79	1.21

Tablo 3. LED 1 ve LED 2 ile oluşturulan LED modüller ile 50 cm ve 125 cm uzaklıktan ışığa maruz bırakılan mikroorganizmaların 24 saat ve 48 saat sonra azalma miktarları

LED Modül Türü	Uzaklık (cm)	Koloni miktarı (10 ⁷ cfu/ml) @ T = 0	Koloni miktarı (10 ⁷ cfu/ml) @ T = 24 h	Koloni miktarı (10 ⁷ cfu/ml) @ T = 48 h
LED 1	50	0.13 ± 0.1	0.000004 ± 0.000003	0 ± 0
LED 1	125	0.7 ± 0.08	0.5 ± 0.02	0.05 ± 0.02
LED 2	50	0.27 ± 0.1	0 ± 0	0 ± 0
LED 2	125	0.65 ± 0.08	0.002 ± 0.001	0.000002 ± 0.000002

Yapılan LED modül prototipleri ile 50 cm ve 125 cm uzaklıktan 405 nm (peak) dalga boyuna sahip ışık kaynaklarının *S. aureus* bakterisi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bakteri Luria-Bertani (LB) besi ortamında 37°C sıcaklıkta orta-katsal faza gelinceye kadar büyütülüp, belirlenen konsantrasyonlarda hazırlandıktan sonra tampon solüsyon içinde ışık kaynağına maruz bırakılmıştır. 24 ve 48 saat boyunca ışığa maruz bırakılan *S. aureus* kolonileri ışığa maruz bırakılmayan kontrol grubuna kıyasla kolonilerdeki canlı hücre miktarlarında azalma

görülmüştür. *S. aureus* için 24 saat ve 48 saat sonra ölçülen koloni miktarları Tablo 3’de verilmiştir. Azalma en az, geniş ışık dağılımına sahip LED 1 modülü ile 125 cm uzaklıkta ölçülmüştür. Diğer durumlarda ışık, mikroorganizmaların ölmesinde ve/veya inaktif hale gelmesinde %100 etkili olmuştur.

3. UV-C BÖLGEDE (275 nm) IŞIMA YAPAN KAYNAKLAR İLE DEZENFEKSİYON

Doz değeri her mikroorganizmanın inaktivasyonu için farklı olabilmektedir. UV-C ile dezenfeksiyon, görünür bölgedekine göre daha farklı bir mekanizma ile gerçekleşmektedir. Bu yöntemde gerekli olan doz miktarları da farklılaşmaktadır. UV ile dezenfeksiyonda mikroorganizmaların çoğunluğu hızla azalmaktadır. Bu azalma basit matematiksel bir yaklaşım ile

$$S = e^{-kD} \quad (3)$$

elde edilebilir [1]. Denklem 3’de S hayatta kalma oranını (survival fraction), k UV sabiti (rate constant – m²/J) şeklinde tanımlanır.

Mikroorganizmalar UV ışımaya maruz kaldıklarında üssel olarak azalma gösterirler. Bu azalma UV sabiti ile ilişkilidir. Belirli bir fraksiyonda (f) azalma için gerekli doz miktarı

$$D_f = \frac{-\ln(1 - f)}{k} \quad (4)$$

şeklinde verilmektedir [1].

Literatür incelendiğinde, yüzey dezenfeksiyonunda, *S. aureus* bakterisi UV-C ışık kaynağına maruz bırakıldığında %90 azalma için gerekli doz miktarı 19x10⁻⁶ - 66x10⁻⁶ J/mm² arasında değişiklik göstermektedir [1]. Piyasada bulunan, tipik UV-C LED’ler ise genellikle 260 – 280 nm arasında ışımaya yapmaktadır. Yayıdıkları radyometrik güç miktarları mW mertebelerindedir. UV-C bölgede ışımaya yapan kaynakların verimi yaklaşık %10 seviyesindedir.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

LED ışık kaynaklarının gelişmesiyle birlikte aydınlatmanın yanında farklı alanlarda kullanımı hızla artmaktadır. Pandemi sebebiyle hijyen önlemlerinin artırılması ile UV ışımaya yapan kaynakların hava ve yüzey dezenfeksiyonu için kullanımı yaygınlaşmıştır. UV, virüs, bakteri, mantar gibi mikroorganizmaların hızlı bir şekilde etkisiz hale getirebilmesini sağlamaktadır. UV ışınları ile dezenfeksiyon uzun yıllardır belirli alanlarda kullanılmaktadır. Bu uygulamaların büyük bir çoğunluğunda LED yerine gazlı lambalar kullanılmaktadır. UV LED’lerin ticari olarak yaygınlaşmasıyla ürünlerin daha kompakt ve uzun ömürlü olması sağlanabilmektedir. Bunun yanında LED ışık kaynakları ile farklı türde optik elemanlar kullanarak daha kompakt ve kullanım alanına özel ürünlerin tasarlanması mümkündür.

UV-C ve 405 nm (peak) ışık kaynakları ile yapılan dezenfeksiyon mekanizmaları birbirinden farklıdır. Bu sebeple farklı yöntemler ile yapılan dezenfeksiyon işlemlerinde aynı mikroorganizma için dahi olsa gerekli olan doz miktarları farklılık göstermektedir.

UV-C hızlı ve etkili bir yöntem olmanın yanında bilinçsiz kullanımında insan sağlığını önemli ölçüde tehdit etmektedir. UV-C kaynaklar ile dezenfeksiyon yapılan ortamda herhangi bir

canlının bulunmaması gerekmektedir. Bilindiği üzere UV ışınlar görece yüksek enerjilidir ve maruz kalınması durumunda göz ve deride ciddi hasarlara sebep olabilmektedir. Bu sebeple UV ışın kaynakları ile tasarlanan dezenfeksiyon cihazlarında/ünitelerinde mutlaka belirli güvenlik önlemlerinin (sensörler ve sesli uyarı sistemleri gibi) alınması gerekir.

405 nm ışık yayan LED'lerin, maruz kalındığında belirtilen herhangi bir hasara sebebiyet verebileceği belirtilmemektedir. Bu bakımdan UV-C kaynaklara göre daha güvenli bir yöntemdir. Diğer taraftan LED'lerin yaydığı güç ve dezenfeksiyon yapılacak ortama göre UV-C kaynaklara kıyasla dezenfeksiyon süresi daha uzundur. Daha güvenli olması sebebiyle birçok alanda hastane, ofis, spor salonu, diğer ortak kullanım alanlarında uzun süreli kullanımlarda etkili olduğu ve ortamdaki mikroorganizma miktarını kontrol altında tuttuğu kanıtlanmıştır [5, 8]. Bu yöntemle, kimyasal kullanımı, iş gücü ve su tüketimi azaltılarak, kimyasalların sebep olabileceği muhtelif hasarlar önlenerek, daha etkili ve sürekli dezenfeksiyon sağlamak mümkündür.

Yapılan çalışmada, 405 nm LED'ler ile oluşturulan LED modüller ile S.aureus bakterisi üzerindeki etkisi incelenmiştir. 405 nm peak dalgaboyuna sahip ışık kaynakları ile etkili dezenfeksiyon yapılabileceği tasarlanan LED modüller üzerinden incelenmiştir. Bu yöntemin UV-C ile dezenfeksiyona göre avantajları ve dezavantajları tartışılmıştır. Uzun süreli kullanımda bakteriler üzerinde etkili olduğu görülmüştür. UV-C kaynaklar ile farklı bakteriler üzerinde ve COVID 19 virüsüne aday gösterilen bakteriyofaj phi6 DSM suşu üzerine çalışmalar devam etmektedir.

KAYNAKÇA

1. Kowalski, Wladyslaw, Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook. 10.1007/978-3-642-01999-9_, 2009.
2. Maclean M, MacGregor SJ, Anderson JG, Woolsey G. High-intensity narrow-spectrum light inactivation and wavelength sensitivity of Staphylococcus aureus. FEMS Microbiol Lett. 2008 Aug;285(2):227-32. doi: 10.1111/j.1574-6968.2008.01233.x. Epub 2008 Jun 28. PMID: 18557942.
3. Maclean M, MacGregor SJ, Anderson JG, Woolsey G. Inactivation of bacterial pathogens following exposure to light from a 405-nanometer light-emitting diode array. Appl Environ Microbiol.;75(7):1932-1937. doi:10.1128/AEM.01892-08. 2009.
4. Maclean M, Macgregor SJ, Anderson JG, Woolsey GA, Coia JE, Hamilton K, Taggart I, Watson SB, Thakker B, Gettinby G. Environmental decontamination of a hospital isolation room using high-intensity narrow-spectrum light. J Hosp Infect. 2010 Nov;76(3):247-51. doi: 10.1016/j.jhin.2010.07.010. PMID: 20864210.
5. Rutala WA, Kanamori H, Gergen MF, et al. Antimicrobial activity of a continuous visible light disinfection system. Infect Control Hosp Epidemiol. 2018;39(10):1250-1253. doi:10.1017/ice.2018.200
6. Guffey JS, Wilborn J. In vitro bactericidal effects of 405-nm and 470-nm blue light. Photomed Laser Surg;24:684e688, 2006.
7. Maclean M, McKenzie K, Anderson JG, Gettinby G, MacGregor SJ. 405 nm light technology for the inactivation of pathogens and its potential role for environmental disinfection and infection control. J Hosp Infect. 2014 Sep;88(1):1-11. doi: 10.1016/j.jhin.2014.06.004. Epub 2014 Jul 3. PMID: 25066049.
8. J. Anderson, M. MacLean, S. J. MacGregor, G. A. Woolsey, Lighting Device (U.S. Patent No. 8,398,264 B2), 2013.
9. Shehatou C, Logunov SL, Dunman PM, Haidaris CG, Klubben WS. Characterizing the Antimicrobial Properties of 405 nm Light and the Corning® Light-Diffusing Fiber Delivery System. Lasers Surg Med. 2019;51(10):887-896. doi:10.1002/lsm.23132
10. Cabral J, AG R. Blue Light Disinfection in Hospital Infection Control: Advantages, Drawbacks, and Pitfalls. Antibiotics.; 8(2):58. https://doi.org/10.3390/antibiotics8020058, 2019.

DİJİTAL AYDINLIK

Mustafa Akkaya¹

¹ Line Lighting Design, IALD, mustafa@lineld.com

Aydınlatmada dijital dönüşüm kendisini ilk olarak elektronik balast teknolojilerinin kullanılmasıyla gösterirken, led ışık kaynaklarının kullanılmasıyla beraber son derece hız kazanmıştır. Aydınlatma otomasyon sistemleri, nesnelerin interneti gibi konular sayesinde aydınlatma sistemleri uzaktan kontrol edilebilir ve veri toplanabilir hale gelmiştir. Bu veriler sayesinde de bilgi birikimi toplanmasının yanı sıra, sistem geliştirilebilir ve uzaktan müdahaleler ile güncellemeler yapılabilmektedir. Aydınlatmada dijital dönüşümün bir diğer konusu Li-fi (Light Fidelity) teknolojisidir. Halen geliştirilmekte olan bu teknoloji kablosuz bağlantı teknolojisi ve Wi-fi teknolojisine göre 100 kat daha hızlı veri aktarımı sağlamaktadır. Bu teknolojinin gelişmesiyle birlikte içerisinde bulunduğumuz yapılarıdaki aydınlatma armatürleri ya da park ve caddelerde yer alan direk ve bolarlar birer internet sağlayıcısı olabilecektir. Bununla birlikte, aydınlatmada dijitalleşme sadece ışık kaynaklarının ve sistemlerinin dönüşmesi değil, farklı fonksiyonlara da alt yapı sağlamaktadır. Bakalım bizler tüm bu dijital dönüşüme yakın zamanda dönüşebilecek miyiz?

Anahtar Kelimeler: Dijital Dönüşüm, Aydınlatma, Nesnelerin İnterneti, Dijitalleşme

Digital Light

While the digital transformation in lighting firstly showed itself with the use of electronic ballast technologies, it gained speed with the use of LED light sources. Thanks to issues such as lighting automation systems and internet of things, lighting systems can be remotely controlled and data can be collected. In addition to collecting data knowledge, the system can be developed and updates can be made with remote interventions. Another subject of digital transformation in lighting is Li-fi (Light Fidelity) technology. This technology, which is still being developed, provides data transfer 100 times faster than wireless connection technology and Wi-fi technology. With the development of this technology, the lighting fixtures in the buildings, the bollards in the parks and the poles in the streets may become internet providers. However, digitalization in lighting transforms not only light sources and systems, but it provides also infrastructure for different functions. Let's see if we as human being can turn into all this digital transformation in the near future.

Keywords: Digital Transformation, Lighting, Internet of Things, Digitalization

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesiyle beraber birçok şey de olduğu gibi aydınlatmada da dijital dönüşüm son 10-15 yıldır kendisini hızla göstermiş ve günümüzde de hepimizin hayatına bir noktada girmiş bulunmaktadır.

Tarihe bakacak olursak, insanoğlu hayatı boyunca ışığa ihtiyaç duymuş, gün ışığının yetersiz olduğu durumda başka alternatif arayışlara girmiştir. Güneşten sonra alev, insanların kullandığı ilk ışık kaynağı olmuş ve tarihte de çok büyük öneme sahiptir. Uzun bir süre alev insanların ışık kaynağı olmuş, bitkisel ve hayvansal yağların devreye girmesiyle mum, gaz lambaları 19. yüzyılın ilk yarısına kadar temel aydınlatma araçları olarak kullanılmıştır. 1845’de Heinrich Goebel tarafından ilk olarak akkor flamanlı lamba bulunmuş ancak kısa sürede bu buluş unutulmuştur. 1879’da Thomas Edison çalışmaları sonucunda karbon flamanlı akkor lambayı

icat etmiş ve insanoğlu elektrikli ışık kaynaklarını kullanmaya başlamıştır [1]. Bu buluşla birlikte aydınlatma sektörünün gelişmesi hız kazanarak, ilk elektrik ampulünden sonra daha fazla ışık veren tungsten flaman ve ışığı daha iyi yaymak için kullanılan aydınlatma armatürleri geliştirilmiştir. Daha sonraları ise elektrik deşarjlı metal buharlı ampuller ve sonrasında ise flüoresan lambalar geliştirilmiştir. Aydınlatmada dijitalleşme ilk olarak kendisini elektronik balast teknolojilerinin kullanılmasıyla göstermiştir. Daha sonra led (light emitting diodes - ışık yayan diyotlar) ışık kaynaklarının genel aydınlatma olarak hayatımıza girmesiyle beraber aydınlatmada dijital dönüşüm hız kazanmıştır. İlk olarak led 1920'lerde Rusya'da icat edilmiştir. 1962 yılında Amerika'da pratik olarak uygulanabilen elektronik bir bileşen haline gelmiştir [2]. 2000'li yıllara doğru ise ledli armatürler hayatımıza girmeye başlamış ve bu gelişmeyle birlikte aydınlatma tasarım projeleri olumlu yönde etkilenmiştir. Led ışık kaynaklarının boyutları ve farklı renk opsiyonları projelerde çeşitliliğe ve tasarımlarda sınırları zorlamaya başlamıştır. Aydınlatma kontrol sistemlerinin de gelişmesiyle birlikte tasarımdaki çeşitlilik gittikçe artmış ve dijital dünyaya aydınlatma sektörü de uyum sağlamıştır.

2. AYDINLATMA OTOMASYON SİSTEMLERİ

Geçmişte kullanılan sistemlerde çeşitli, hareket, varlık, günışığı sensörleri yardımıyla ışığı sadece aç-kapa gibi basit şekilde yönetebilirken, günümüzde aydınlatma sistemlerini bulut tabanlı olarak daha ekonomik ve pratik şekilde, ışığın şiddeti, rengi, farklı dalga boylarına göre kontrol edebilme olasılarına sahibiz. Tüm bu senaryoları ve ayarlamaları yapabilen yapay zekalı sistemler aynı zamanda bilgi ve verileri toplayarak sistemin gelişmesinde ve olası problemlerde ana kumandadan yönetilmesine olanak sağlamaktadır. Son birkaç yıldır hızla artan insan odaklı aydınlatma terimi ise dijital alt yapının sunduğu olanak ile ışığın, yayılım, şiddet ve renk sıcaklığı cinsinden kontrol edilerek insanların gün içerisinde psikolojik olarak kendilerini daha iyi hissetmelerine ve sirkadiyen ritminin desteklenmesini sağlamaktadır. Bütün bunların tek amacı kullanıcılara daha konforlu, sağlıklı, kolay ve işlevsel bir ortam sunmasıdır.

Aydınlatma otomasyon sistemleri arasında bulunan KNX ve DALI aydınlatma sistemleri iki yönlü veri iletişimi sağlayan dijital teknolojilerdir. KNX, ayrı ayrı kontrol edilen fonksiyonları (soğutma, ısıtma, panjur, perde, interkom, aydınlatma vb.) tek çatı altında toplayan bir bina otomasyonu sistemidir. DALI (Digital Addressable Lighting Interface – Dijital Adreslenebilir Aydınlatma Arayüzü), yapılarda aydınlatma uygulamalarına yönelik bir iletişim protokolüdür ve elektronik balastlar, parlaklık sensörleri ve hareket dedektörleri gibi aydınlatma kontrol cihazları arasında iletişim için kullanılır [3].

Bluetooth aydınlatma kontrol sistemleri de son yıllarda kullanımı hızla artmış ve birçok yapıda kendini göstermektedir. Restoranlarda, ofislerde, evlerde kullanımı yaygınlaşmış, bluetooth güç kaynakları ile telefon ya da tablet içine kurulmuş uygulamalar aracılığı ile ışığın rengini, şiddetini ve zamanını istediğiniz şekilde yöneterek dilediğiniz atmosfere bulunduğunuz ortamı ayarlayabiliyorsunuz. Bu sistemlere entegre günışığı sensörleri ile siz kontrol sağlamadan da ışık, ortam ışık seviyesini algılayarak hafızasında bulunan ışık miktarına ulaşacak şekilde kendini kontrol edebilme özelliğine sahip olabiliyor. Aydınlatmadaki bu dijital olanaklar daha kolay yaşam ve çalışma ortamları sağlamaktadır.

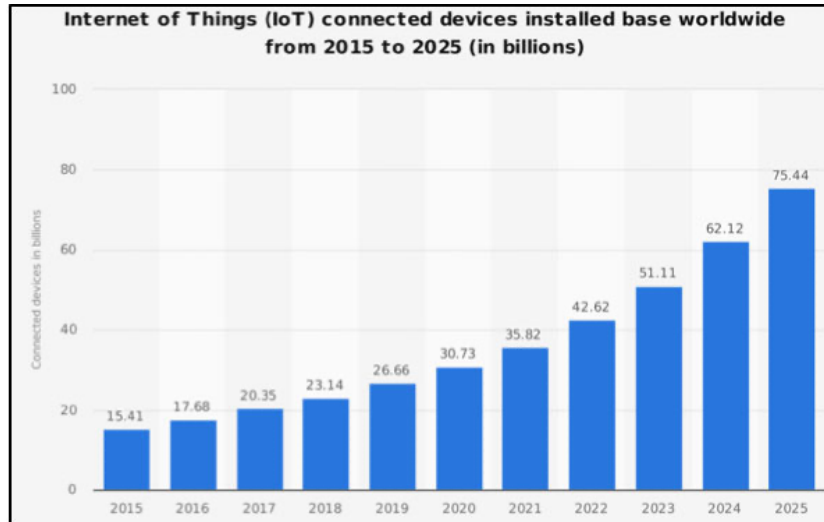
3. ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Dijitalleşme beraberinde diğer konulara da ışık tutmaktadır. Bunlardan bir tanesi enerji verimliliğidir. Her geçen gün daha çok önemi artmakta olan bu konu dijital sistemler ile daha kontrollü, ihtiyaca yönelik dinamik ışık seviyeleri sağlayarak enerjinin daha verimli şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Led ışık kaynaklarından alınan yüksek verimlilik, günümüzde ortalama 200 lm/watt, aydınlatma kontrol sistemleri ile yeterli aydınlık seviyelerinde enerjinin tüketimi kontrol edilerek verimlilik en üst seviyede sağlanabilmektedir.

4. NESNELERİN İNTERNETİ

Aydınlatmada dijitalleşme, nesnelerin interneti konusundaki gelişmeler sayesinde hız kazandı. Kullanmış olduğumuz ışık kaynakları, lambalar internete bağlanabilen bir alt yapıya sahip oldular. Çok kompleks yapılardan tutun, büyük ve küçük ölçekli ortamlarda kullandığımız aydınlatma sistemleri tablet ya da telefonlarımızda bulunan uygulamalar üzerinden kontrol edebildiğimiz sistemlere dönüştüler. Bu dijitalleşme sadece binalar ile sınırlı kalmayıp şehir ölçeğine, masterplan aydınlatmalarına da yansımaya başladı ve yakın gelecekte şehirlerimiz akıllı aydınlatma sistemleri ile bizlere hizmet vermeye başlayacaktır. Akıllı aydınlatma sistemleri sayesinde uzaktan aydınlatma armatürlerinin verimliliği, yaşam döngüsü, armatürün künyesi ve varsa arızası gibi konulara erişmek mümkün. Bu durumda daha verimli, daha kontrollü aydınlatma armatürlerinin ve sistemlerinin gelişmesinde son derece önem arz etmektedir [4].

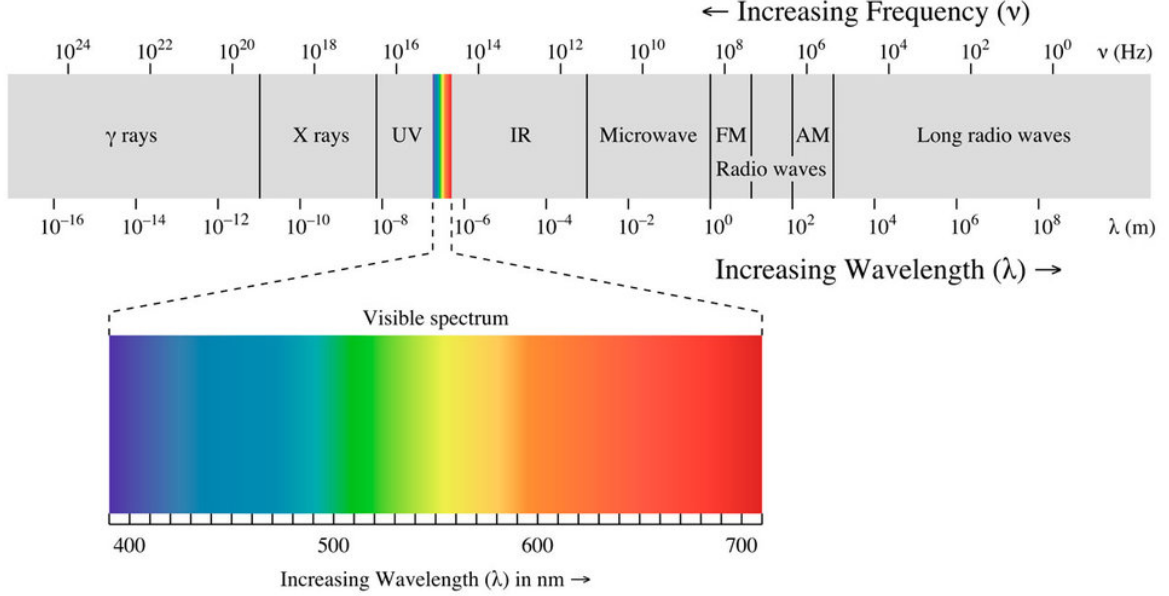
IoT (nesnelerin interneti) platformları herhangi bir ortamda enerji kullanımı, çevresel koşullar ve insan faaliyetleri hakkında çok büyük miktarda veri toplayabilir. Bu veriler son derece değerlidir. Örneğin, bir ebeveyn "Jimmy'nin odasında ışıklar hala açık mı?" sorusuna yanıt veren Alexa gibi basit sesle etkinleştirilen sistemlerden geri bildirim alabilir. [5]



Şekil 1: Öngörülen küresel büyüme IoT (nesnelerin interneti) bağlantılı cihazların oranı.
(Kaynak: IHS, İstatistik 2018)

5. GÖRÜNÜR IŞIK İLETİŞİMİ

Görünür Işık İletişimi (VLC), 400 ile 800 THz (375-780 nm) arasındaki ışık kaynaklarından yayılan görünür dalga boylarındaki ışığın veri aktarımı olarak tanımlanabilir. Optik kablosuz iletişim teknolojilerinin bir alt kümesidir.

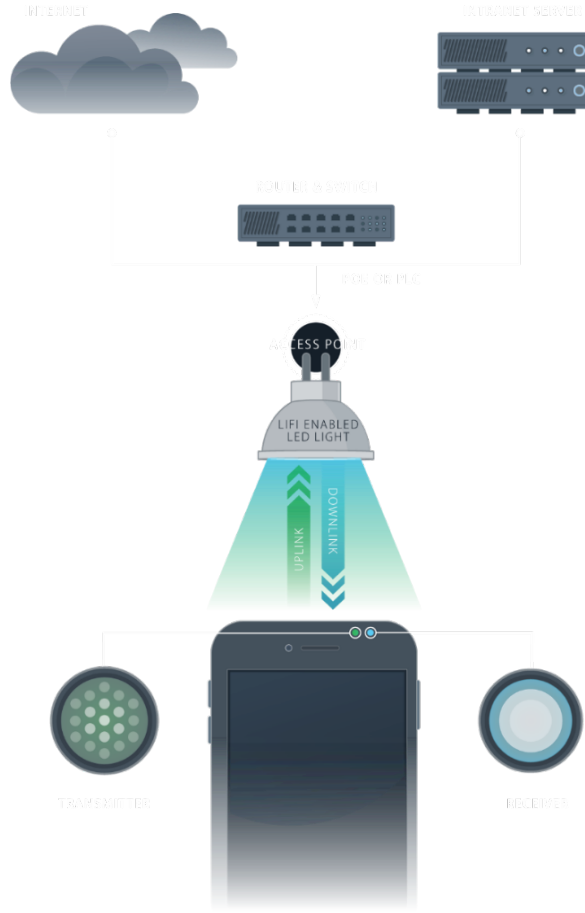


Şekil 2: Elektromanyetik Spektrum
(<https://www.lifitn.com/im-new>)

Görünür Işık İletişimi çalışmaları hala başlangıç aşamasındadır. Radyo Frekansı (RF) bant genişliğinin kalabalıklaşması nedeniyle alternatif bir kablosuz iletişim teknolojisine yönelik artan bir talep bulunmaktadır. Bu durum, VLC teknolojisinin küresel ölçekte benimsenmesiyle sonuçlanacaktır. VLC teknolojisinin temelinde LED ışık kaynakları olduğu için bozulma veya spektrum açıkları ile karşılaşılmemakta ve mükemmel hızlarda veri aktarabilmektedir [6].

6. Li-Fi TEKNOLOJİSİ

Aydınlatmada dijitalleşmenin diğer bir konusu ise Li-Fi (Light Fidelity) teknolojisidir. Halen geliştirilmekte olan bu teknoloji kablosuz bağlantı teknolojisidir ve Wi-fi teknolojisine göre 100 kat daha hızlı veri aktarımı sağlamaktadır. Bu teknolojinin gelişmesiyle birlikte içerisinde bulunduğumuz yapılarındaki aydınlatma armatürleri ya da park ve bahçelerde yer alan direk ve bolartlar birer internet sağlayıcısı olabilecek. Li-fi teknolojisi de Wi-Fi'da olduğu gibi veriyi elektromanyetik bir şekilde transfer ediyor. Aralarındaki fark ise Wi-Fi radyo dalgalarını kullanırken, Li-Fi görünen ışığı kullanıyor. Li-fi teknolojisi, donanımsal olarak ışık alıcı foto-detektör ve alınan sinyali işleyip aktarılabilir veriye çevirecek bir ekipmana ihtiyaç duymaktadır.



Şekil 3: Li-Fi nasıl çalışır ?
(<https://purelifi.com/lifi-technology/>)

Bir LED ampule elektrik akımı uygulandığında, ampulden bir ışık akımı (fotonlar) yayılır. LED ampuller yarı iletken cihazlardır, yani içlerinden geçen ışığın parlaklığı son derece yüksek hızlarda değiştirilebilir. Bu durum, ışığı farklı oranlarda modüllere ayırarak sinyalin gönderilebileceği anlamına gelir. Sinyal daha sonra ışık yoğunluğundaki değişiklikleri veri olarak yorumlayan bir dedektör tarafından alınabilir [7].

7. SONUÇ

Tüm bu konulardan da anlayabileceğimiz gibi aydınlatmada dijitalleşme sadece ışık kaynaklarının ve sistemlerinin dönüşmesi değil, farklı fonksiyonlara da alt yapı sağlamaktadır. Hepsinin temelinde ise daha pratik, hızlı, kolay ve nitelikli bir yaşam sunmak vardır. Bu dönüşüm doğru, bilinçli ve iyi bir şekilde yönetildiği sürece çok büyük faydalar sağlayacaktır. Bakalım bizler tüm bu dijital dönüşüme yakın zamanda ne kadar dönüşebileceğiz.

KAYNAKÇA

1. Hofmann H., Ganslandt R. Handbook of Lighting Design, Cilt 1, Bertelsmann International Group, Almanya, 1992
2. Sektörüm Dergisi, Işık Yayan Diyotlar, <https://www.sektorumdergisi.com/ledin-icadi-hakkinda-bilgiler/>, 2020, 14.09.2021

3. Teleteknik, Aydınlatma Otomasyonu, <https://teleteknik.com.tr/aydinlatma-otomasyonu/>, 2019, 10.09.2021
4. Pronk B., Tuijl F. Integrating Lighting in the Internet of Things, LED Professional; 67, 80, 2018
5. Karlicek R. Lighting and the Internet of Things, Illuminating Engineering Society (IES), 2018
6. Li-fi Tech News, Li-fi Technology, <https://www.lifitn.com/im-new>, 2018, 15.09.2021
7. PureLiFi, How Li-fi Works ?, <https://purelifi.com/lifi-technology/>, 2021, 17.09.2021

HİBRİT STRATEJİLİ ADAPTİF YOL AYDINLATMASI

İsa Aslan¹, Sermin Onaygil², Önder Güler³, M. Berker Yurtseven⁴

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, ee.isaaslan@gmail.com

² İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, onaygil@itu.edu.tr

³ İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, gulerond@itu.edu.tr

⁴ İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, byurtseven@itu.edu.tr

Yol aydınlatmalarında LED'e dönüşümde elde edilebilecek enerji tasarruf değerlerinin yüksek olabilmesi için trafik güvenliğini tehlikeye sokmayan kontrol stratejileri ile otomasyon sistemlerinin kullanılması önerilmektedir. Çalışmada doğru tasarlanmış LED'li yol aydınlatmalarında Adaptif Yol Aydınlatması - ARL uygulamalarının enerji tasarruf oranlarına katkılarının incelenmesi amaçlanmıştır. Mevcut durumda YBSBL'lı armatürlerle aydınlatılan M2 aydınlatma sınıflı yolun LED'e dönüşümü ile başlanarak, güneş doğuş ve batış saatlerine göre yol aydınlatmasının çalıştığı süreler; trafik yoğunluğu değişimi; ortam koşulları ve yağmurlu gün sayısı gibi veriler değerlendirilip yıl boyunca yol aydınlatması otomasyon senaryoları oluşturulmuştur. Yolda önceden öğreti sistemine dayalı merkezi kontrol stratejisi (statik) ile araç takip sistemli stratejilerin (dinamik) birlikte kullanıldığı hibrit stratejili bir kontrol yöntemi geliştirilmiştir. Statik ARL uygulaması ile %18,75 oranında ek enerji tasarrufunun elde edilebileceği, hibrit ARL'de ise tasarruf oranının %45,63'e yükseleceği hesaplanmıştır. Yağış koşulları dikkate alındığında, aynı hibrit ARL uygulamasında enerji tasarruf oranı %29,4'e düşmektedir.

Anahtar kelimeler: Adaptif Yol Aydınlatması, LED Dönüşümü, Yol Aydınlatması Otomasyonu, Aydınlatma Sınıfı, Enerji Performans Göstergesi

Adaptive Road Lighting with Hybrid Strategy

It is recommended to use control strategies and automation systems that do not endanger traffic safety in order to achieve high energy saving values that can be achieved in conversion to LED in road lighting. In this study, it is aimed to examine the contribution of Adaptive Road Lighting - ARL applications to energy saving rates in properly designed LED road lighting. Starting with the conversion of the M2 lighting class road, currently illuminated with high pressure sodium vapor lamp luminaires to LED, the duration of the road lighting operation according to the sunrise and sunset times; traffic density change; environmental conditions data and the number of rainy days were evaluated and road lighting automation scenarios were created throughout the year. On the road, a hybrid strategy control method has been developed in which central control strategy (static) based on learning and strategies with vehicle tracking system (dynamic) are used together. It has been calculated that 18.75% additional energy savings can be achieved with the static ARL application, while the savings rate will increase to 45.63% in hybrid ARL. Considering the precipitation conditions, the energy saving rate drops to 29.4% in the same hybrid ARL application.

Keywords: Adaptive Road Lighting, LED Conversion, Road Lighting Automation, Lighting Class, Energy Performance Indicator

1. GİRİŞ

Geçmiş yıllarda kapsamlı saha ve laboratuvar çalışmaları yapılarak uygulama esasları belirlenmiş yol aydınlatmalarında daha sonra süregelen durgunluk dönemi LED ışık kaynaklı armatürlerin kullanımıyla yeniden canlanmıştır. Daha az bakım çalışması gerektiren uzun ömürleri ve en önemlisi enerji tasarrufu sağlamaları nedeniyle yol aydınlatmalarında LED'li

sistemlere dönüşüm projeleri tüm ülkelerde güncel ve önemli uygulamalardır. Bugüne kadar gerçekleştirilen araştırmaların sonuçlarına dayanarak literatürde, elde edilebilecek enerji tasarruf değerlerinin beklenildiği şekilde yüksek olabilmesi için, LED’li yol aydınlatması uygulamalarında armatürlerin konvansiyonel ışık kaynaklı olanlara göre kolay dim edilebilme özellikleri vurgulanarak, trafik güvenlik ve konforunu tehlikeye sokmayan kontrol stratejileri ile otomasyon sistemlerinin kullanılması gerektiği ifade edilmektedir [1-3]. Genelde “**Adaptif Yol Aydınlatması**” olarak tanımlanan bu uygulamaların mevzuat alt yapısı henüz yetersiz olup, bu konudaki çalışmalar halen devam etmektedir. Adaptif yol aydınlatmaları uygulamaları için mevcut durumu ile yetersiz olan EN 13201 standartlarında gerekli ilave ve düzeltmelerin yapılabilmesi için 2020 yılında “CEN/TC169/WG12 – Joint Working Group with CEN/TC226 – Road Lighting” çalışma grubu aktif hale getirilmiş ve çalışmalarına başlamıştır [4]. Çalışma grubu içinde temsilci bir üyesi olan Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) da kendi bünyesinde “TC 4-62 Adaptive Road Lighting” teknik komitesini kurarak teknik rapor hazırlama çalışmalarını başlatmıştır [5].

Diğer yandan, yol aydınlatmalarında temel amaç gerekli aydınlatma koşullarının oluşturulması ve trafik güvenliğinin sağlanmasıdır. Yüksek enerji tasarruf değerlerine ulaşılması amaçlanırken, yollardaki güvenlik ve konfor koşulları açısından gerekli aydınlatma kalitesinin tehlikeye sokulmamasına özen gösterilmelidir. Bunun için ulusal ve uluslararası standart ve önerilerde tanımlı yol aydınlatması gereklilikleri yerine getirilmelidir. Avrupa Birliği’nin (EN) CEN (European Committee for Standardization) – CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization) uluslararası regülasyonlarına göre, Türkiye ulusal standart kuruluşları Avrupa Standartları’nı uygulamak zorunda olan ülkeler arasındadır. Bu nedenle, Türk Standartları Enstitüsü (TSE) mevcut durumda yol aydınlatması konusunda Avrupa Birliği’nin EN 13201 kodlu 2015 tarihli beş yayını (biri teknik rapor) standart olarak kabul etmiş ve uygulamaya koymuştur [6].

CEN/TR 13201-1 numaralı teknik raporda, yol aydınlatma sınıfı seçilirken, yolun tasarım hızı veya hız sınırı, trafik yoğunluğu, trafiğin yalnızca motorlu araçlar için ya da motorsuz araç ve yayalar ile karışık olduğu, yolda gidiş dönüş şeritlerini ayıran bir orta refüjün bulunup bulunmadığı, kavşak yoğunluğu, park etmiş araçların olup olmadığı, ortam parıltısı ve görsel kılavuzlama gibi birçok parametre göz önünde bulundurulmaktadır [7]. Bu parametrelerin bazıları yolun geometrik yapısı ile ilgili olup değişmezken, yoldaki araçların hızı, trafik yoğunluğu, ortam parıltısı gibi parametreler zamana bağlı olarak değişebilmektedir. Sürücülerin yolda güvenli bir şekilde araç sürmeleri ve önlerine çıkan engelleri fark edebilmeleri için ihtiyaç duyacakları aydınlatmanın miktarı da zamana bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Bu nedenle, yoldaki değişken parametreleri takip ederek buna uygun dinamik bir aydınlatma yapılmasını sağlayabilen adaptif yol aydınlatması sistemleri gündeme gelmektedir.

CEN/TR 13201-1’de adaptif aydınlatma; “trafik yoğunluğu, zaman, hava şartları veya diğer parametrelere göre parıltı veya aydınlık düzeyinde geçici olarak yapılan kontrollü değişiklikler” olarak tanımlanmaktadır. Parametre değerlerinin değişkenlik yapısının iyi bilindiği (örneğin trafik güzergahları üzerindeki trafik izleme istasyonları ve hava durumu (meteoroloji) istasyonlarında tutulan kayıtlar kullanılarak) ya da makul ölçülerde tahmin edilebildiği durumlarda birçok yerleşim alanlarında zaman esaslı basit bir kontrol sisteminin kullanılması uygun olabilir. Diğer durumlarda, gerçek zamanlı veriye dayalı interaktif kontrol sistemleri tercih edilebilir. Adaptif yol aydınlatması için statik ya da dinamik yöntemler kullanılabilir. Statik yöntemlerde ön programlanmış saatlerde armatürlerin ışık akısı azaltılırken, dinamik yöntemlerde trafik takip edilerek aydınlatmanın kontrolü gerçekleştirilmektedir. Işık akısı azaltımları tek seviyeli yapılabildiği gibi çok seviyeli de

olabilmektedir. Ancak adaptif yol aydınlatması uygulamalarında farklı koşullarda etkili tüm parametreler dikkate alınarak trafik güvenliğini tehlikeye sokmayacak aydınlatma kalite büyüklüklerinin ne olması gerektiği konusundaki çalışmalar henüz tamamlanmamıştır. Armatür ışık akısı ve buna bağlı aydınlatma seviyesinin değişiminde karar algoritmaları, uyarı verilerinin doğru algılanması, seviyeler arası geçiş süreleri, belli bir seviyenin devamlılık süresi ve yol uzunluğu vb. konularda araştırma ve deneyimlere dayalı net uygulama kılavuzlarına ihtiyaç vardır. 2000 yılların başından beri uygulanmakta olan adaptif yol aydınlatmalarında yıllar boyunca LED ve kontrol teknolojilerindeki gelişmelerle önemli iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir. Ancak elektrik, elektronik, yazılım, kontrol ve doğal olarak aydınlatma tekniği disiplinlerinin birlikte çalışması gereken bu uygulamalarda trafik güvenliğini tehlikeye sokmayacak kontrol strateji ve senaryolarının her koşula uygun düzeyde belirlenmesi henüz bir araştırma konusudur.

Bu çalışmada adaptif yol aydınlatması otomasyon sistem bileşenleri ve kontrol yöntemleri hakkında mevcut literatür bilgileri ve uygulamalar irdelenip, gerçek bir yolun trafik ve meteorolojik verileri kullanılarak oluşturulan kontrol stratejileri ile elde edilebilecek enerji tasarruf oranları karşılaştırılmaktadır. Çalışmaya mevcut durumda yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalı armatürlerle aydınlatılan M2 aydınlatma sınıfı yolun LED'e dönüşümü ile başlanarak, güneş doğuş ve batış saatlerine göre yol aydınlatmasının çalıştığı süreler; trafik yoğunluğu değişimi; ortam koşulları ve yağmurlu gün sayısı gibi veriler değerlendirilip yıl boyunca yol aydınlatması otomasyon senaryoları oluşturulmuştur.

Literatürdeki “araç trafiğinin düşük olduğu yollarda araç takip sensörlü kontrol stratejileri ile daha yüksek tasarruf oranlarının elde edilebileceği, trafik yoğunluğu yüksek ve riskli koşullu durumlarda ise çok dikkatli analizlerin yapılması gerektiği” bilgisi ve en yüksek enerji tasarrufu elde edilme isteği dikkate alınarak, aynı yolda önceden öğreti sistemine dayalı merkezi kontrol stratejisi (statik) ile araç takip sistemli hareket sensörlü otonom stratejilerinin (dinamik) birlikte kullanıldığı hibrit stratejili bir kontrol yöntemi geliştirilmiştir.

2. ADAPTİF YOL AYDINLATMASI (ARL)

Daha önce de ifade edildiği gibi, “trafik yoğunluğu, zaman, hava şartları veya diğer parametrelere göre parıltı veya aydınlık düzeyinde geçici olarak yapılan kontrollü değişiklikler” olarak tanımlanan Adaptif Yol Aydınlatmaları (Adaptive Road Lighting - ARL), LED ve otomasyon teknolojilerinin gelişmesi, ülkeler için enerji verimliliği çalışmalarının önem kazanması ile son yıllarda sayıları ve çeşitleri artan uygulamalardır.

Dış aydınlatma amaçlı elektrik enerjisi tüketimini azaltmak için en çok kullanılan yöntem, armatürün çalıştığı zaman periyodunun kontrol edilmesidir. Bu iş için temel olarak çevredeki ışık miktarına göre aç/kapa mantığıyla çalışan fotosel veya astronomik röleler kullanılmaktadır [8]. Ancak duyarlılıkları düşük olan bu sistemlerde bulutlu günlerde ve özellikle şafak vaktinde hatalar oluşabilmektedir. Astronomik rölelere güneşin doğuş ve batış saatlerini hesaplayan programların entegrasyonu ile hata olasılığı azalmaktadır. Yeni yaklaşımlarda ise zaman periyodunun kontrolünün yanında trafik ve çevre koşullarına göre aydınlatmayı ayarlayan adaptif sistemlerle, trafik güvenliği tehlikeye sokulmadan enerji tasarrufu sağlanabilmekte ve armatürlerin durumu uzaktan kontrol edilebildiği için bakım yönetimi de kolaylaşmaktadır.

Adaptif yol aydınlatması sistemleri -aydınlatma direği dışında- temelde dört bileşenden oluşmaktadır [9]:

- Işık ve hareket sensörleri: Işık sensörü gece olduğunda armatürün açılmasını sağlarken hareket sensörü direk civarında bir hareket algıladığında armatüre sinyal göndermektedir. Bu sinyaller mikro kontrolör tarafından değerlendirilmektedir.
- Mikro kontrolör: Armatür ışık akısının azaltılması ya da artırılması kararını mikro kontrolör vermektedir. Bunun için akıllı bir algoritma ile programlanmış ya da merkezi kontrol modülünden tanımlanmış komutlara göre karar veren bir sistem oluşturulmaktadır.
- Ölçüm cihazları: Sıcaklık, yağış, araç sayısı ve hızı, yaya sayısı, tüketilen güç gibi dış değişkenler hakkında bilgi toplamak için kullanılmaktadır.
- İletişim cihazları: Bir veya birden fazla armatürden bilgi almak ve merkeze iletmek için kullanılmaktadır.

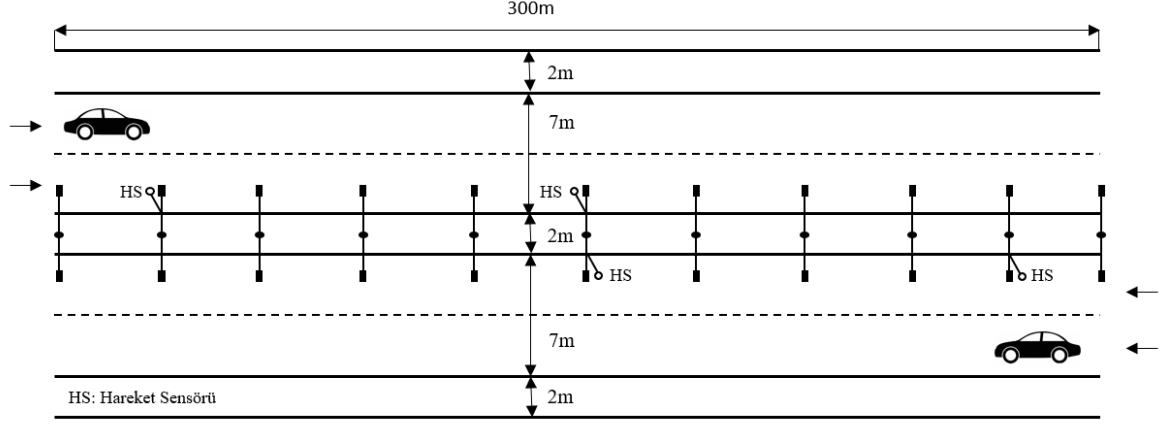
Adaptif yol aydınlatmalarında yoldaki trafik yoğunluğunun yani araçların tespiti önemli bir konudur. ARL uygulamalarında araç ve yaya yolları bölgelere ayrılarak belirli mesafelerde yerleştirilmiş sensörlerin, o bölgelerde hareket tespit edildiğinde armatürlerin ışık akısı seviyelerini istenilen değerlere ayarlaması beklenmektedir. Uygulanmalarında standartlaşmış teknik bilgilerin henüz yetersiz olduğu, belli maliyetlerle tesis edilecek ARL sistemlerinin tesisinde araştırma ve saha deneyimlerine dayalı proje çalışmalarına ihtiyaç vardır. Donanım olarak kaliteli tesis edilmiş bir ARL sisteminde, yol kullanım fonksiyonlarına uygun otomasyon strateji algoritması belirlenemediğinde trafik güvenlik koşulları tehlikeye girebilecek, hatta amaçlanan enerji tasarruf değerlerine de ulaşamayabilecektir.

3. ENERJİ PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Çevreye yayılan ışık miktarı azaltılarak ışık kirliliğinin önüne geçilmesi, bakım çalışmalarının kolaylaşması gibi faydaları da önemli olmasına rağmen, adaptif yol aydınlatması uygulamalarının temelinde işletme esnasında elde edilebilecek enerji tasarruf miktarları yatmaktadır. Bu çalışmada LED'e dönüşüm ve otomasyon sistemlerinin uygun senaryolarla tesis edilmesi sonucu sağlanacak enerji tasarruf değerlerinin belirlenmesi amacıyla EN 13201-5 standardında tanımlı enerji performans değerlendirme yöntemi kullanılmıştır [10]. İlgili yayında yol aydınlatma tesisatlarının enerji performansı "Güç Yoğunluğu Göstergesi" ve "Yıllık Enerji Tüketim Göstergesi" olmak üzere iki büyüklükle değerlendirilmektedir. Çalışmada enerji performans göstergeleri ARL strateji uygulamasının yapıldığı pilot yol özelinde düzenlenmiştir.

3.1. Pilot Yol Teknik Özellikleri

Çalışma Karadeniz bölgesinde M2 aydınlatma sınıfı olarak tanımlanan şehiriçi bir yol için gerçekleştirilmiştir. İki şerit gidiş ve iki şerit dönüş, orta refüjden çift konsollu aydınlatma düzenekli yolun her iki yanında 2 metre genişlikli emniyet şeritleri yer almaktadır (Şekil 1). Mevcut durumda 2 m genişliğindeki refüjde 30 m aralıklarla 12 m yüksekliğindeki direklerde 2 m uzunluk ve 15° açılı konsollara 250 W yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalı (YBSBL) armatürler monte edilmiştir. Armatür balast gücü 36 W olup, yol yüzey sınıfı R3 olarak kabul edilmektedir. Standarta göre hesap alanı, katkıda bulunacak armatür sayısı ve mevcut direkler arası mesafe dikkate alınarak uygulama 11 direk ve 22 armatürü kapsayan 300 metrelik düz yol bölümünde gerçekleştirilmiştir [11].



Şekil 1. Pilot yol krokisi

3.2. Güç Yoğunluğu Göstergesi

Yol aydınlatma tesisatının güç yoğunluğu göstergesi (D_p) şebekeden çekilen elektriksel gücün aydınlatılan alanda sağlanan aydınlık düzeyi ve alana oranı olarak tanımlanmakta, $W/lx.m^2$ birimi ile ifade edilmektedir. Farklı geometrik özellikli yol bölümlerinden oluşan tesisatın güç yoğunluk göstergesi Denklem 1 ile hesaplanmaktadır.

$$D_p = \frac{P}{\sum_{i=1}^n (E_i \cdot A_i)} \quad (1)$$

D_p : güç yoğunluk göstergesi ($W/lx.m^2$)

P : aydınlatma tesisatının toplam gücü (W)

E_i : i. yol bölümünde sağlanan aydınlık düzeyi (lx)

A_i : i. yol bölümünün alanı (m^2)

n : farklı geometrideki yol bölüm sayısı

Çalışmada pilot yol için Güç Yoğunluğu Göstergesi denklemi aşağıdaki şekilde kullanılmıştır.

$$D_p = \frac{k_P \cdot P}{k_E (E_{ER} \cdot A_{ER} + E_{RR} \cdot A_{RR} + E_{RL} \cdot A_{RL} + E_{EL} \cdot A_{EL})} \quad (2)$$

P : pilot yol tesisatı toplam elektriksel gücü (W)

E_{ER} : gidiş yönü emniyet şeridi ortalama aydınlık düzeyi (lx)

A_{ER} : gidiş yönü emniyet şeridi alanı (m^2)

E_{RR} : gidiş yönü yol ortalama aydınlık düzeyi (lx)

A_{RR} : gidiş yönü yol alanı (m^2)

E_{RL} : dönüş yönü yol ortalama aydınlık düzeyi (lx)

A_{RL} : dönüş yönü yol alanı (m^2)

E_{EL} : dönüş yönü emniyet şeridi ortalama aydınlık düzeyi (lx)

A_{EL} : dönüş yönü emniyet şeridi alanı (m^2)

k_P : güç azaltım oranı (%)

k_E : ışık akısı azaltım oranı (%)

Aydınlatma sistemlerinde ışık akısı azaltımına karşılık güç değerindeki azalma farklı oranlarda gerçekleşmektedir. Bu nedenle tesisatta dimleme yapılıyorsa kullanılan aydınlatma armatürlerinin ışık akısına bağlı güç değişim değerlerinin ölçümlerle belirlenmesi gerekmektedir.

3.3. Yıllık Enerji Tüketim Göstergesi

Bu gösterge tesisatın yıl boyunca tükettiği elektrik enerjisi değerinin aydınlatılan alana bölümü şeklinde tanımlanmakta ve Wh/m² birimi ile ifade edilmektedir.

$$D_E = \frac{\sum_{i=1}^m (P_j \cdot t_j)}{A} \quad (3)$$

D_E: yıllık enerji tüketim göstergesi (Wh/m²)

P_j: j. işletme periyotundaki tesisat gücü (W)

t_j: P_j gücünün çekildiği işletme süresi (h)

A: aydınlatılan yol bölümü alanı (m²)

m: farklı güçlerin çekildiği işletme periyot sayısı

Çalışmada pilot yol için yıllık enerji tüketimi Denklem 4 kullanılarak her farklı güç tüketimi olan t işletme süreleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

$$D_E = \frac{k_P \cdot P \cdot t}{(A_{ER} + A_{RR} + A_{RL} + A_{EL})} \quad (4)$$

4. LED DÖNÜŞÜMÜ

M2 aydınlatma sınıfı olarak tanımlanan pilot yolda mevcut durumdaki 250 W YBSBL'lı tesisat, sahadaki aydınlatma armatürlerinin fotometrik ve elektriksel verileri kullanılarak analiz edilmiştir. Yol yüzeyinde ortalama 1,5 cd/m² parıltı düzeyi sağlanması gerekirken [12] mevcut tesisat ile ortalama 2,84 cd/m² değerlerine ulaşıldığı görülmektedir. Bu durum Türkiye'de mevcut YBSBL'lı yol aydınlatması tesisatlarının projelendirilmelerinde gereğinden yüksek güçlerin seçildiğini göstermektedir. Tesisatların bakım çalışmaları düzgün yapılabildiğinde, yollarda daha düşük güçlü armatürlerle trafik güvenliğini tehlikeye sokmayan projeler gerçekleştirilebilecektir.

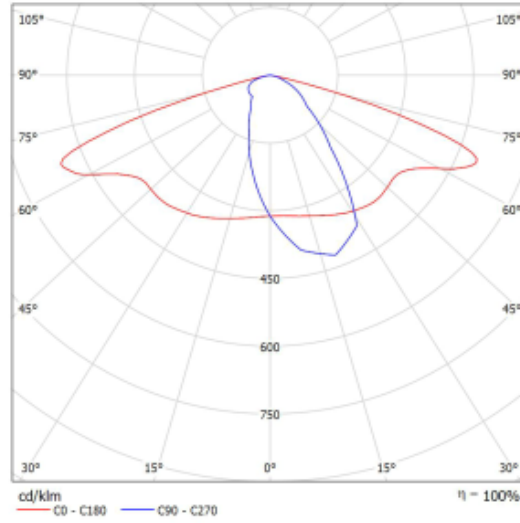
Enerji performans değerlendirmeleri yol yüzeyinde sağlanan aydınlık düzeylerine göre yapılmaktadır. Bu nedenle, pilot yol tesisatındaki 300 metrelik uygulama bölgesinde aydınlatılan gidiş-dönüş yollarının ve her iki taraftaki emniyet şeritlerinin aydınlık düzeyleri ve alanları hesaplanmış, k_P ve k_E oranları sistemde otomasyon olmadığı için 1,0 alınıp, Denklem 2 ve 4 kullanılarak mevcut YBSBL'lı tesisat için enerji performans göstergeleri hesaplanmıştır. Pilot yolun bulunduğu bölgede güneşin doğuş ve batış saatleri aylara göre ortalama değerler alınarak belirlenmiş ve yol aydınlatma tesisatının yıllık çalışma süresi 4318,1 saat olarak bulunmuştur. Sonuçlar Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Mevcut YBSBL'lı tesisat için enerji performans göstergeleri

Güç oranı (%)	Ayd. sınıfı	Yıllık çalışma süresi t (saat)	k _P	k _E	E _{RR} , E _{RL} (lx)	E _{ER} , E _{EL} (lx)	L _{ort} (cd/m ²)	D _p (mW/lx.m ²)	D _E (kWh/m ²)
100	M2	4318,1	1	1	40	35	2,84	29,96	5,03

Yolda standart tarafından M2 aydınlatma sınıfı için verilen 1,5 cd/m² ortalama parıltı düzeyinin +%10 toleransla sağlanması hedefi ile LED'li aydınlatma tasarımları gerçekleştirilmiştir. Işık dağılımı Şekil 2'de gösterilen 11448 lm ışık akılı ve 91 W gücündeki LED'li armatür ile gerekli

aydınlatma kriterleri sağlanmıştır. Etkinlik faktörü 125,8 lm/W olan armatür TEDAŞ şartnamesine de uygundur.



Şekil 2. LED'li armatür ışık dağılım eğrisi

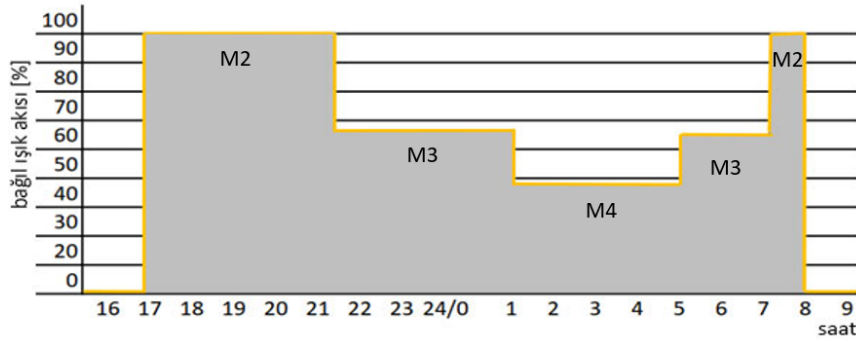
Otomasyonsuz LED'li yol aydınlatma tesisatı için enerji performans göstergelerini de içeren sonuçlar Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. LED'li tesisat için enerji performans göstergeleri

Güç oranı (%)	Ayd. sınıfı	Yıllık çalışma süresi t (saat)	k_p	k_E	E_{RR}, E_{RL} (lx)	E_{ER}, E_{EL} (lx)	L_{ort} (cd/m ²)	D_p (mW/lx.m ²)	D_E (kWh/m ²)
100	M2	4318,1	1	1	24	16,8	1,54	16,6	1,60

5. ARL UYGULAMASI

Pilot yol bölgesinde farklı zamanlardaki trafik yoğunluğu sahada gerçekleştirilen inceleme ve ölçüm çalışmaları ile belirlenmiştir. Aydınlatmaya ihtiyaç olan saatlerde trafik oluşumunda ve çevre parıltısında gerçekleşen değişimler de dikkate alınarak yolda trafik güvenliğini tehlikeye sokmadan standartlara uygun yaratılacak farklı aydınlatma sınıfları CEN/TR 13201-1'de verilen yöntemle göre belirlenmiştir [7]. Şekil 3'de gösterildiği gibi, 17:00 - 21:00 ve 07:00 - 08:00 saatleri arasında M2; 21:00 - 01:00 ile 05:00 - 07:00 arasında M3; trafik yoğunluğunun çok azaldığı 01:00 - 05:00 saatleri arasında ise M4 aydınlatma sınıfları yeterli olmaktadır. Senaryolarda aydınlatmanın başlangıç ve bitişi güneşin doğuş ve batış saatlerine göre ayarlanmıştır.



Şekil 3. Üç aydınlatma sınıfı örnek günlük çalışma profili

Çalışmada ilk olarak M2, M3 ve M4 aydınlatma sınıflarının belirlenen saat aralıklarında uygulandığı statik ARL stratejisi analiz edilmiştir. Daha sonra trafik yoğunluğunun düşük olduğu 01:00 - 05:00 saatleri arasında araç takip sensörlü dinamik ARL uygulaması ile hibrit bir strateji geliştirilmiştir. Son olarak pilot yolun bulunduğu bölgedeki meteorolojik koşullar dikkate alınarak hibrit strateji yağmurlu günler özelinde değerlendirilmiştir.

5.1. Statik ARL Uygulaması

Bu stratejide önceden belirlenen saat aralıklarında belirlenmiş olan aydınlatma seviyelerinin yaratılması esastır. Işık akısı ayar komutları sistemde mikro kontrolörde tanımlanacaktır. Merkezi kontrollü sistem olarak da adlandırılan bu stratejide M2, M3 ve M4 aydınlatma sınıfları için gerekli aydınlatma kriterlerinin yol yüzeyinde sağlanabilmesi için armatürlerin dimleme oranları ve bu dim seviyelerinde çekilen güç değerlerindeki azalma oranlarının sistem özelinde belirlenmesi gerekmektedir. LED’li tesisatta kullanılacak armatürün laboratuvarda gerçekleştirilen ölçüm sonuçlarına göre ışık akısı-güç değişim oranları Tablo 3’de verilmektedir. Tabloda hibrit stratejide “Gece” seviyesi olarak uygulanacak %10 ışık akısı oranı da gösterilmektedir.

Tablo 3. LED’li armatür ışık akısı ve güç değişim oranları

Aydınlatma Sınıfı	Işık Akısı (lumen)	Bağıl Işık Akısı (%)	Güç (W)	Bağıl Güç (%)
M2	11448	100	91,1	100
M3	7500	66	55,96	61
M4	5600	49	41,68	46
Gece	1144	10	11,60	13

Bir yıllık periyotta güneşin doğuş ve batış saatleri dikkate alınarak, farklı aydınlatma seviyelerinde tesisatın çalışma saatleri belirlenmiş ve Tablo 4’de verilmiştir. Tabloda tesisatın enerji performansını değerlendirmek için gerekli k_E ve k_P oranları da gösterilmektedir.

Tablo 4. Statik ARL’de farklı yol aydınlatma sınıflarında tesisat yıllık çalışma süreleri

Yol Aydınlatma Sınıfı	M2	M3	M4
Çalışma Saatleri	17:00-21:00 07:00-08:00	21:00-01:00 05:00-07:00	01:00-05:00
Yıllık Çalışma Süresi (saat)	931,3	1921,3	1465,5
Işık akısı azaltım oranı (k_E)	1,0	0,66	0,49
Güç azaltım oranı (k_P)	1,0	0,61	0,46

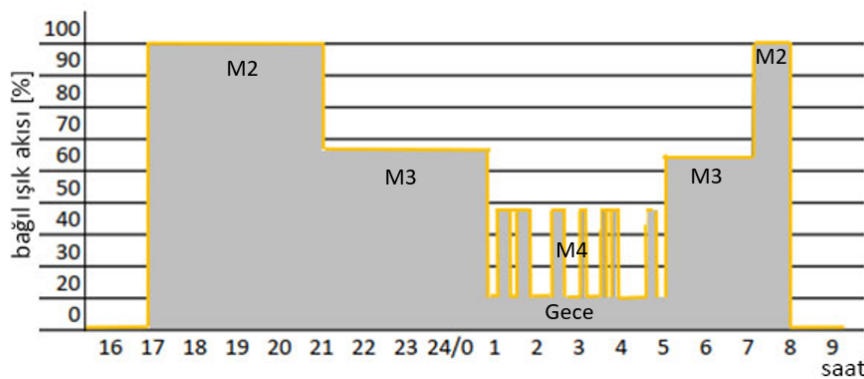
Bu değerler Denklem 2 ve 4’de kullanılarak hesaplanan enerji performans göstergeleri ve tesisatın aydınlatma kalite kriterleri Tablo 5’de verilmektedir.

Tablo 5. Statik ARL’de farklı yol aydınlatma sınıfları için enerji performans göstergeleri

Güç oranı (%)	Ayd. sınıfı	Yıllık çalışma süresi t (saat)	k_p	k_E	E_{RR}, E_{RL} (lx)	E_{ER}, E_{EL} (lx)	L_{ort} (cd/m ²)	D_p (mW/lx.m ²)	D_E (kWh/m ²)
100	M2	931,3	1	1	24	16,8	1,54	16,57	1,30
61	M3	1921,3	0,61	0,66	15	11	1,01	15,54	
46	M4	1465,5	0,46	0,49	12	7,5	0,75	15,55	

5.2. Hibrit ARL Uygulaması

Trafik yoğunluğunun düşük olduğu ve M4 aydınlatma sınıfı kriterlerinin sağlandığı 01:00-05:00 saatleri arasında araç takip sistemli strateji uygulanmıştır. Bu saatlerde sahada gerçekleştirilen ölçüm çalışmaları ile araçların geçtiği anlar kaydedilmiştir. Bu örnek veriler kullanılarak 01:00-05:00 saatleri arasında dinamik adaptif yol aydınlatması kurgulanmıştır. Pilot yolda mevcut 11 aydınlatma direğinin gidiş yönü için 2. ve 6. sına, dönüş yönü için de 6. ve 10. suna araç algılama sensörleri yerleştirilerek yoldaki 80 km/h hız sınırı baz alınıp otonom senaryolar oluşturulmuştur (Şekil 1). Gidiş yönünde pilot yola giren araç 2 nolu direktteki sensör tarafından algılandığında 1’den 6.’ya kadar (6. direk dahil) direklerdeki gidiş yönü tarafındaki armatürler M4 aydınlatma sınıfı için gerekli %49 ışık akısı seviyesinde 7 saniye süre ile yanacaktır. Bu sürede araç 6. direk yakınına gelecek ve 6. direktteki sensör tarafından algılandığında 5’den 11.’ye kadar (11. direk dahil) direklerdeki gidiş yönündeki armatürler yine 7 saniye süre için %49 ışık akısında yanacak, geride kalan 1’den 4.’ye kadar olan direklerdeki armatürlerin ışık akıları maksimum ışık akısının %10 seviyesine düşürülecektir. Arkadan başka araç gelmediğinde, sözkonusu araç pilot yoldan çıkınca tüm armatürler “Gece” aydınlatma sınıfı olarak adlandırılan %10 ışık akısı seviyesinde yanacaktır. Yolda ve çevresinde güvenliğin sağlanması, armatür ömürlerinin açma/kapama işleminden zarar görmemesi için uluslararası kabullere göre gece saatlerinde yol aydınlatmalarının minimum %10 ışık akısı seviyesinde çalıştırılmaları önerilmektedir [10]. Şekil 4’de hibrit ARL uygulaması için bir gecelik örnek işletme profili gösterilmektedir.



Şekil 4. Hibrit ARL’de farklı seviyelerdeki örnek günlük çalışma profili

Bu senaryo 01:00-05:00 saatleri arasında araç geçiş zamanlarına göre uyarlanarak tesisatın M4 ve gece seviyelerinde yıllık çalışma süreleri hesaplanmıştır. Hibrit ARL uygulaması hem gidiş hem de dönüş yolu için statik M2 ve M3 aydınlatma sınıfları da dahil edilerek kurgulanmış, değerler yine Denklem 2 ve 4’de kullanılarak gidiş ve dönüş yolu için enerji performans göstergeleri hesaplanmıştır. Yoldan elde edilen araç geçiş bilgilerine göre 01:00-05:00 saatleri

arasında her iki yönde de geçen araç sayısı az ve birbirine benzer olduğu için farklı yönlü trafik için hesaplanan enerji performans göstergeleri arasında önemli bir fark oluşmamıştır. Yolun tamamını temsil edebilen gidiş yönü için enerji performans göstergeleri ve tesisatın aydınlatma kalite kriterleri Tablo 6’da verilmektedir.

Tablo 6. Hibrit ARL’de gidiş yönünde farklı yol aydınlatma sınıfları için enerji performans göstergeleri

Güç oranı (%)	Ayd. sınıfı	Yıllık çalışma süresi t (saat)	k _P	k _E	E _{RR} , E _{RL} (lx)	E _{ER} , E _{EL} (lx)	L _{ort} (cd/m ²)	D _p (mW/lx.m ²)	D _E (kWh/m ²)
100	M2	931,3	1	1	24	16,8	1,54	16,57	0,87
61	M3	1921,3	0,61	0,66	15	11	1,01	15,54	
46	M4	109,6	0,46	0,49	12	7,5	0,75	15,50	
13	Gece	1355,9	0,13	0,10	2,35	1,68	0,15	21,14	

5.3. Yağmurlu Hava Koşullarında Hibrit ARL Uygulaması

Yağışlı havada yol yüzeyi aynasal yansıtıcı karakterde olduğu için sürüş görüş koşulları zorlaşmaktadır. Trafik güvenliğini tehlikeye sokmamak için yağışlı saatlerde adaptif yol aydınlatmalarında farklı seviyeli otomasyon seviyelerinin devre dışı bırakılması, tesisatın %100 ışık akısında çalıştırılması önerilmektedir. Meteorolojik veriler kullanılarak pilot yolun bulunduğu bölgedeki yıllık yağışlı gün sayısı bulunmuş, yağış gündüz ve gece sürekli olmasa da yol yüzeyinin ıslak olabileceği varsayılarak, yağışlı günlerde yol aydınlatma tesisatının sürekli M2 aydınlatma sınıfı koşulları sağlanacak şekilde çalışması senaryosu hibrit ARL uygulamasına entegre edilmiştir. Bu koşullara göre farklı aydınlatma sınıflarındaki yıllık çalışma süreleri tekrar hesaplanmış ve Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 7. Yağmurlu koşullarda farklı yol aydınlatma sınıflarında tesisat yıllık çalışma süreleri

Yol Aydınlatma Sınıfı	M2	M3	M4	Gece
Çalışma Saatleri	17:00-21:00 07:00-08:00	21:00-01:00 05:00-07:00	01:00 - 05:00	
Güç oranı (%)	100	61	46	13
Çalışma Süresi (saat)	2130,8	1238,5	71	877,8

Yağmurlu hava koşullarında tesisatın sürekli M2 aydınlatma sınıfında çalıştığı durum için hibrit ARL uygulamasında elde edilecek enerji performans göstergeleri gidiş yönü için hesaplanmış, yolda sağlanan aydınlatma kalite kriterleri ile birlikte Tablo 8’de gösterilmiştir.

Tablo 8. Yağmurlu hava koşullarında Hibrit ARL’de gidiş yönünde farklı yol aydınlatma sınıfları için enerji performans göstergeleri

Güç oranı (%)	Ayd. sınıfı	Yıllık çalışma süresi t (saat)	k _P	k _E	E _{RR} , E _{RL} (lx)	E _{ER} , E _{EL} (lx)	L _{ort} (cd/m ²)	D _p (mW/lx.m ²)	D _E (kWh/m ²)
100	M2	2130,83	1	1	24	16,8	1,54	16,57	1,13
61	M3	1238,5	0,61	0,66	15	11	1,01	15,54	
46	M4	71	0,46	0,49	12	7,5	0,75	15,5	
13	Gece	877,8	0,13	0,10	2,35	1,68	0,15	21,14	

6. DEĞERLENDİRME ve SONUÇ

Mevcut durumda 250 W YBSBL'lı armatürlerle aydınlatılan M2 aydınlatma sınıflı yolda LED'e dönüşüm, statik ve hibrit ARL uygulamaları ile yağışlı koşulların dikkate alınması durumundaki tesisat yıllık enerji tüketim göstergeleri Tablo 9'da toplu olarak verilmiştir. YBSBL'lı mevcut tesisatta proje aşamasında doğru tasarımlar yapılamadığı için M2 aydınlatma sınıfına göre ortalama yol yüzeyi parlaltısı yüksektir. Bu nedenle standartlara uygun ortalama yol yüzey parlaltısının sağlandığı LED dönüşümünde %68,19 oranında enerji tasarruf olasılığı hesaplanmıştır. Çalışmanın amacı doğru tasarlanmış LED'li yol aydınlatmalarında ARL uygulamalarının enerji tasarruf oranlarına katkılarının incelenmesidir. Bu amaçla gerçek saha ve meteoroloji verileri kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde merkezi kontrollü statik ARL uygulaması ile %18,75 oranında ek enerji tasarrufunun elde edilebileceği, araç takip sensörlü dinamik kontrolün entegre edildiği hibrit ARL'de ise tasarruf oranının %45,63'e yükseleceği hesaplanmıştır. Bu da trafik yoğunluğunun düşük olduğu saatlerde araç takip sensörlü dinamik otomasyon senaryolarının enerji tasarruf oranını arttırabileceğini göstermektedir. Diğer yandan yağış koşulları dikkate alındığında, aynı hibrit ARL uygulamasında enerji tasarruf oranı %29,4'e düşmektedir

Tablo 9. Pilot yolda uygulanan tesisatların yıllık enerji tüketim göstergeleri

Yol Aydınlatma Tesisatı	Yıllık Enerji Tüketim Göstergesi, D_E
Mevcut YBSBL'lı tesisat	5,03 kWh/m ²
LED'li tesisat	1,60 kWh/m ²
Statik ARL uygulamalı tesisat	1,30 kWh/m ²
Hibrit ARL uygulamalı tesisat	0,87 kWh/m ²
Yağışlı koşullarda hibrit ARL uygulamalı tesisat	1,13 kWh/m ²

Yol aydınlatmalarında LED'e dönüşüm projelerinde trafik yoğunluğu, trafik hızı ve meteorolojik koşullara uygun otomasyon stratejileri uygulanarak enerji tasarruf oranları arttırılabilecektir. Ancak uygulanan senaryo ve stratejilerin trafik güvenliğini olumsuz etkilememesi için detaylı saha araştırmalarına ve veri analizlerine ihtiyaç vardır.

KAYNAKÇA

1. Cacciatore G., Fiandrin C., Kliazovich D., Granelli F., Pascal P., Cost analysis of smart lighting solutions for smart cities, <https://www.researchgate.net/publication/314081671>.
2. LED Road Lighting Design Manual, Philips, 2014.
3. Djuretic A., Kostic A.M., Actual energy savings when replacing high-pressure sodium with LED luminaires in street lighting, *Energy*, 157, 2018.
4. European Committee for Standardization (CEN), www.cencenelec.eu, 25.08.2021.
5. International Commission on Illumination (CIE), <http://cie.co.at/>, 25.08.2021.
6. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), <http://www.tse.org.tr/>, 25.08.2021.
7. CEN/TR 13201-1: 2014, Road lighting – Part 1: Guidelines on selection on lighting classes.
8. Bingöl E., Gül Ö., Şener S., A review of intelligent street lighting system for smart cities, 2nd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, 2019.
9. Patarroyo D., Rodríguez D., Garzón I., Cristhian A., Revision of smart street lighting LED, *Ingeniería Solidaria*, Vol. 15, No. 2, 1-28, 2019.
10. EN 13201-5: 2015, Road Lighting – Energy Performance Indicators.
11. EN 13201-3: 2015, Road Lighting - Calculation of Performance.
12. EN 13201-2: 2015, Road lighting - Performans Requirements.

PARAMETRİK TASARIM VE GÖRSEL KONFOR: BİR KARAR VERME MEKANİZMASI ÖNERİSİ

İlker Karadağ¹

¹ Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Güzel Sanatlar, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, ilker.karadag@cbu.edu.tr

Sürdürülebilirlik kavramı yapılı çevre ve doğal çevre arasındaki etkileşimin anlaşılması açısından ciddi öneme sahiptir. Son yıllarda bu kapsamda, özellikle iç mekân konfor koşullarının iyileştirilmesine yönelik çok sayıda araştırma yürütülmüştür. Bu noktada mimarların gün ışığına bağlı parametrelere hâkim olması ve gün ışığını etkin biçimde erken tasarım aşamasına entegre etmesi beklenmektedir. Böylelikle sadece görsel konfor artışı sağlanmayacak aynı zamanda bina enerji tüketimi de en aza indirgenmiş olacaktır. Fakat rüzgâr ve güneş gibi değişken çevresel parametrelerle etkileşimde olan yapıların bu değişen durumlara cevap verebilecek esneklikte “ara yüzlere” sahip olması gerekmektedir. Mimaride dijital dönüşümle birlikte karar verme mekanizmaları da dönüşmüş; analiz, sentez ve değerlendirme aşamaları çok daha etkin ve hızlı yürütülebilmeye başlanmıştır. Yapı ve doğal çevre arasında yer alan ara yüzün, diğer bir deyişle cephenin, dijital teknolojilerden faydalanılarak tasarlanıp, üretilmesinin de böylelikle önü açılmış, cephede seri üretim sebebiyle ortaya çıkan kısıtlar da aşılmaya başlanmıştır. Dijital üretim teknolojileriyle, kısa sürede birbirinden farklı boyutlardaki fakat bir arada canlı bir organizma gibi çalışabilen çok sayıda özel üretim bileşen bir araya gelerek yapı kabuğunu oluşturabilmektedir. Özel üretim parametrik cephe sistemleri, güneş ısınımını kontrol ederek iç mekânda istenilen görsel konfor seviyesinin yakalanmasına katkı sağlayabilmektedir. Fakat bu sistemler dinamik olduğundan değişken konfigürasyonların ayrı ayrı ele alınması gerekmektedir. Her bir kurguyu erken tasarım aşamasında doğru şekilde değerlendirebilmek içinse özelleşmiş bir dijital karar verme mekanizmasına ihtiyaç vardır. Tüm bunlardan yola çıkarak, bu çalışmada, parametrik cephelerin gün ışığı etkin tasarlanabilmesi için birleştirilmiş bir karar mekanizması geliştirilmesi amaçlanmıştır. Tasarım ve analiz süreçlerinin eş zamanlı ele alınıp birbirini beslediği bu mekanizma ile birlikte erken tasarım aşamasında ortaya çıkan form bulma ve görsel konfor gereksinimleri arasındaki boşluk da azalacaktır. Bu amaca ulaşmak ve öneri metodun etkinliğini inceleyebilmek için 2 katlı hipotetik bir ofis binası düşünülmüş, güneş ısınımına göre şekillenen kare modüllerden oluşan dinamik cephe sistemi tasarlanmış, sonrasında analizler için binanın zemin katında yer alan açık planlı çalışma mekânı ele alınmıştır. Simülasyonlar yaz gün dönümü (kuzey yarımküre) olması sebebiyle kritik öneme sahip olan 21 Haziran tarihi için yürütülmüştür. Yapı kabuğunda gün ışığının optimizasyonuna yönelik farklı boyutlarda tasarlanan fakat prensipte birebir aynı mekanizmaya sahip olan parametrik cepheler ayrı ayrı analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Her bir kurgunun detaylı olarak incelenmesi sonucunda optimize edilmiş parametrik cephelerin iç mekân görsel konforunu sağlamada ciddi anlamda etkin bir rol üstlenebileceği ve boyut faktörünün dikkatle ele alınması gerektiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Güneş ışığı, Güneş Kırıcı, Parametrik Cephe, Parametrik Tasarım

Parametric Design and Visual Comfort: A Decision-Making Mechanism Proposal

The concept of sustainability is of great importance in understanding the interaction between the built environment and the climate. Within this context, in recent years, many studies have been carried out to improve indoor comfort conditions. At this point, architects are expected to master daylight-dependent parameters and effectively integrate daylight into the early design phase. Thus, not only will the visual comfort increase, but also the energy consumption of the building will be minimized. However, structures that interact with variable environmental parameters such as wind and sun must have “interfaces” that are flexible to respond to these changing situations. With the digital transformation in architecture, decision-making mechanisms have also been transformed; analysis, synthesis and evaluation phases have begun to be carried out much more effectively and quickly. This paved the way

for the interface between the building and the natural environment, in other words the façade, to be designed and produced using digital technologies, and the constraints that emerged due to mass production on the façade began to be overcome. With digital production technologies, a large number of specially manufactured components of different sizes that can work together like a living organism can come together to form the building envelope in a short time. Specially produced parametric facade systems can contribute to the attainment of the desired visual comfort level in the interior by controlling the solar radiation. However, since these systems are dynamic, variable configurations need to be handled separately. A specialized digital decision-making mechanism is needed in order to correctly evaluate each setup at the early design stage. Based on all these, in this study, it is aimed to develop a unified decision mechanism to design parametric façades effectively with daylight. With this mechanism, in which the design and analysis processes are handled simultaneously and feed each other, the gap between form-finding and visual comfort requirements that arise in the early design phase will also decrease. In order to achieve this aim and to examine the effectiveness of the proposed method, a hypothetical 2-storey office building was considered, a dynamic façade system consisting of square modules shaped according to solar radiation was designed, and then the open-plan working space on the ground floor of the building was considered for analysis. The simulations were conducted for the critically important date of 21 June, as it is the summer solstice (northern hemisphere). Parametric facades, which are designed in different sizes for the optimization of daylight in the building envelope, but have the same mechanism in principle, have been analyzed separately and the results are given comparatively. As a result of the detailed examination of each setup, it has been seen that the optimized parametric facades can play a significant role in providing visual comfort and the size factor should be handled carefully.

Keywords: Daylight, Sunshade, Parametric Facade, Parametric Design

1. GİRİŞ

Sürdürülebilir mimari tasarım kapsamında konum, yön, form, güneş ışınlımı vb. gibi parametreler tasarım değişkenleri olarak kabul edilebilir. Geleneksel tasarım yönteminde, ilk model oluşturulduktan sonra tasarımcı herhangi bir parametreyi değiştirmek isterse, tüm süreç tekrarlanmak durumunda kalabilir ve bu oldukça zaman alıcıdır. Buna karşılık, parametrik tasarım, tüm tasarım bileşenlerini aynı anda entegre ve koordine eder, böylelikle tasarımın verimli bir şekilde değiştirilmesi veya iyileştirilmesi için ortam sağlar. Bu nedenle, düzenleme veya geliştirme gibi herhangi bir parametre değişikliği nihai modele doğrudan etkir ve geometri otomatik ve anlık olarak güncellenir [1].

Temel olarak, parametrik terimi matematikten gelir ve denklemlerin belirli parametreler veya değişkenler içermesi anlamında kullanılır [2]. Mimari tasarımda ise tasarım öğeleri arasındaki ilişkinin karmaşık geometriler oluşturmak için yeniden formüle edilebilecek parametreler olarak gösterildiği hesaplamalı tasarım olarak tanımlanabilir. Parametreler değiştiğinde yeni geometriler oluşur ve böylelikle farklı parametrelerin tasarıma etkileri anlık olarak izlenebilir.

Gün ışığı, özellikle tasarım konseptleri, cepheler, formlar, işlevler, yönlendirme ve hatta malzemeler gibi mimari kararlarda önemli bir role sahiptir [3]. Gün ışığı boylam, enlem, güneş yolu, gündönümü, ekinoks, gökyüzü tipi ve güneş radyasyonu gibi birçok farklı kriterden etkilenir. Diğer taraftan mimari tasarımda form bulmada yapı bileşenlerinin boyutları da ciddi öneme sahiptir. Özellikle yapı kabuğunda güneş ışınlımının kontrolüne yönelik dinamik modüler sistemler bu açıdan parametrize edilmeye çok uygundur. Çünkü parametrik tasarım, tasarım kararını, modellemeyi ve problem çözmeyi kolaylaştırır. Ayrıca, özellikle gün ışığının etkisini analiz ederek bina tasarımı için optimum çözümleri öngörülebilir.

Parametrik tasarımda tasarım değişkenlerinin gün ışığına etkisini inceleyen çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Jaepil, Taekyoung, Euisoon ve Gensong [4], açılır kapanır kanatlar (louvres) için en iyi açığı belirlemeye çalışmışlardır. Fakat bu çalışmada daha çok termal performansı optimize etmek amaçlanmıştır. Bir diğer çalışmada, dış çevre koşullarına ve iç mekân fonksiyonlarına uyum sağlayabilen bir parametrik çatı ıslıklık sistemi önerilmiş ve böylelikle yapıların içinde bulundukları bağlama yanıt verme ve tutunma yeteneğini geliştirmek amaçlanmıştır [5]. Başka bir çalışmada pasif bina gereksinimlerini karşılamak için, hareketli bir çatı sistemi düşünülmüş, birden fazla katman kullanılarak gün ışığı optimize edilmeye çalışılmıştır [6].

Literatürde çoğunlukla tek bir sistem içindeki alt kanatların veya açıklıklarının kendi içinde boyutları veya açılımları parametrize edilerek incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında ise literatürden farklı olarak tekrarlayan sistemlerin (modüllerin) boyut (ölçek) değişkeninin incelenmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda birbirinden bağımsız hareket edebilecek kare modüllerden oluşan dinamik bir yapı kabuğu tasarlanmıştır. Modüller form, boyut, yönelim, malzeme gibi birçok değişkene sahiptir. Fakat herhangi bir değişkenin etkisini tekil olarak inceleyebilmek adına diğer değişkenlerin sabit tutulması gerekmektedir. Bu kapsamda boyut (ölçek) değişkeninin incelenmesi hedeflendiğinden diğer parametreler incelenecek her bir kurgu için eşit alınmıştır. Çalışmadaki boyut değişkeni her bir kare modülün kenar uzunluğuna karşılık gelmektedir. Bu uzunluk 1m, 2m ve 4m olarak oransal biçimde farklılaştırılmış ve 3 farklı senaryo elde edilmiştir. Yapı kabuğunda gün ışığının optimizasyonuna yönelik farklı boyutlarda tasarlanan her bir kurgu prensipte birebir aynı mekanizmaya ve forma sahip olan modüller barındırmaktadır. Bu modüller çalışmanın sonraki bölümlerinde ayrı ayrı analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

2. MALZEME VE METOT

Bu bölümde çalışmanın temelini oluşturan kurgusal modeller ve bu modellerin simüle edilmesine yönelik izlenen adımlar malzeme ve metot alt başlıklarında verilmiştir.

2.1 Malzeme

Çevresel performans değerlendirmesi için İstanbul'da yer alan 2 katlı kurgusal bir ofis binası düşünülmüş, güneş ışınlamına göre şekillenen kare modüllerden oluşan dinamik cephe sistemi tasarlanmış, sonrasında analizler için binanın zemin katında yer alan açık planlı çalışma mekânı ele alınmıştır. Cephedeki modül boyutlarının görsel konfor ve kamaşmaya etkisinin diğer parametrelerden bağımsız incelenebilmesi adına kurgu yapının tekil olduğu ve yakın çevresinde herhangi bir yapı bulunmadığı durum ele alınmıştır.

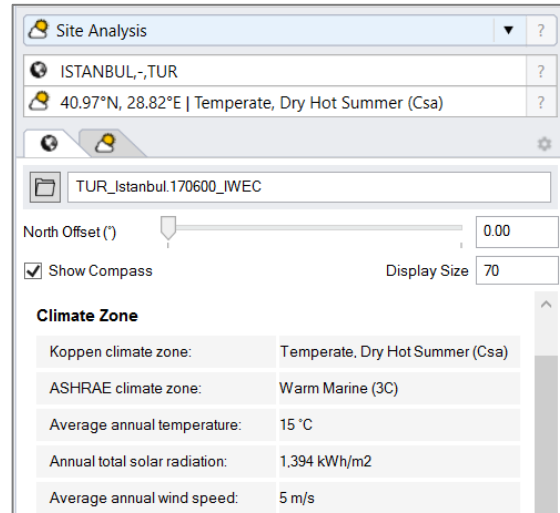
2.2 Metot

Güneş etkin bir cephe kurgulanması hedeflendiğinden, modüler cephe sistemi ilk olarak Rhinoceros/Grasshopper ortamında parametrize edilmiştir. Modüler bir sistem oluşturulması cephenin güneşe lokal ölçekte her biri bağımsız hareket edebilen alt modüllerle cevap verebilmesini sağlamaktadır. Her bir modül temel düzeyde ele alındığında dört eş üçgenden oluşmaktadır. Bu dört üçgen tek bir kare modülün alt bileşenleridir ve dinamik olarak açılıp kapanabilmektedir. Bu kapsamda bina otomasyon sisteminin sağladığı verilerle güneşin yörüngesi tahmin edilmekte ve her bir modülün bağımsız hareketi aktüatörler yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Çalışma kapsamında modül boyutlarının gün ışığının optimizasyonuna

yönelik etkisi incelendiğinden prensipte birebir aynı mekanizmaya sahip olan fakat boyutları oransal olarak değişen parametrik cepheler tasarlanmıştır.

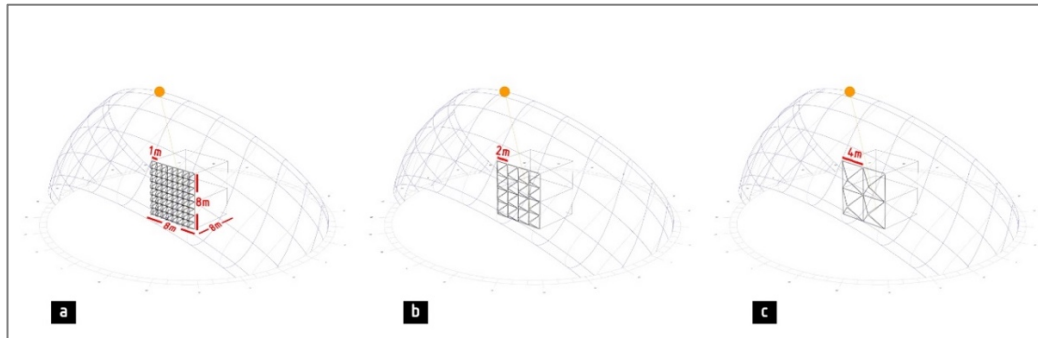
Simülasyonlar yaz gün dönümü (kuzey yarımküre) olması sebebiyle kritik öneme sahip olan 21 Haziran saat 12.30 için İstanbul enlem ve boylamı seçilerek yürütülmüştür. Güneş etkin bu cephe sistemi güneşin yıl içinde en dik konumda olduğu için seçilen bu gün ve saatte günışığı ve kamaşma etkileri açısından değerlendirilmiştir. Bu kurgu güney cephesi açısından zorlu bir koşul barınmaktadır, çünkü güneşin en tepede olduğu ve güneş ışıınının en yüksek olduğu durumdur.

Simülasyonlar günışığı simülasyonlarında yaygın kullanıma ve kabule sahip *Radiance* yazılımı üzerinden hesaplamalar gerçekleştiren *Climate Studio* eklentisiyle yürütülmüştür. Eklentiye ait konum alt panelinden (Şekil 1), İstanbul için tipik meteorolojik yıl (TMY) iklim dosyası seçilmiştir. Bu dosya *epw formatında ve direkt/yaygın güneş ışıını, sıcaklık ve bağıl nem seviyelerinin yanı sıra rüzgâr hızı ve yönü de dahil olmak üzere bir çevresel performans analizi için gerekli saatlik ölçüm verilerini içermektedir.



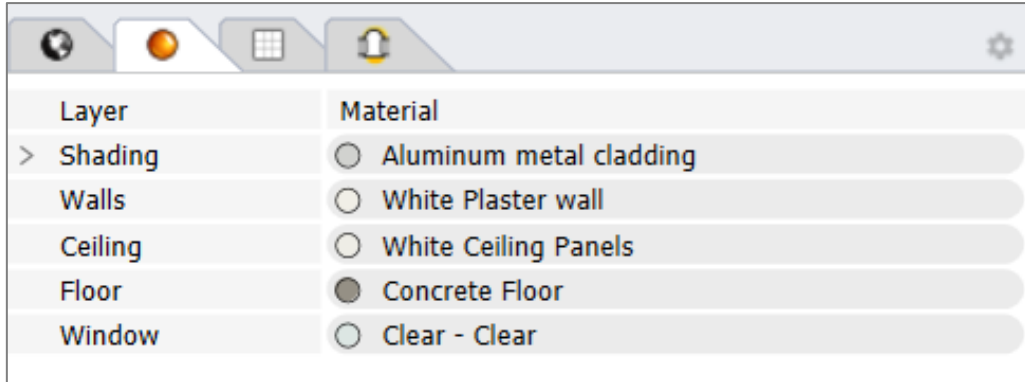
Şekil 1. *Climate Studio* yazılımına ait konum seçim paneli

Güneşin yörüngesinin tahmini için *Climate Studio* yazılımının *Site Analysis* adlı bileşeni kullanılmıştır. Sistemin aktif bir şekilde güneşi kırıp kırmadığının kontrolü, iç mekâna tam olarak gölge düşürmesi beklentisi üzerinden yapılmıştır. Bunun için güneşin vektörel açısı baz alınıp gölgeler çizilmiş ve seçilen gün ve saat için modüllerin optimum açıklık durumları kararlaştırılmıştır. Üç farklı kurgu için ayrı ayrı elde edilen geometriler *Grasshopper* üzerinde *bake* edilmiş ve sonra simülasyonlarda kullanılmak üzere yapı bileşenlerinin malzemelerine göre ayrı ayrı katmanlarla *Rhinoceros*'a aktarılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışmanın malzemesini oluşturan 3 farklı kurguya ait perspektifler (kabukları oluşturan modüllerin boyutları; a=1m, b=2m ve c=3m)

Bir sonraki aşamada yüzeylere malzemeler atanmıştır. Duvar (*walls*), döşeme (*floor*), tavan (*ceiling*), pencere (*window*) ve gölgeleme elemanları (*shading*) için yaygın karşılaşılan malzemelerin seçilmesine özen gösterilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Climate Studio – malzeme paneli (yüzeyler için seçilen malzemeler listelenmiştir)

Gökyüzü modeli için *Perez All Weather Sky* Model seçilmiştir. Perez gökyüzü modelinde, iklimsel veriler referans alındığından gerçeğe yakın bir model elde edilebilmektedir. Bu modelde herhangi bir tarih ve konuma ilişkin veriler, o konumdaki o tarihin ortalaması olmak zorunda değildir, bunun yerine o konuma ve tarihe denk gelen koşulları en iyi temsil eden verilerdir. Perez Modelinin kullandığı iki parametre delta (gökyüzü parlaklığını temsil eder) ve epsilondur (gökyüzü açıklığını temsil eder). Bu parametreler, belirli yerler ve tarih/saat kombinasyonları için ölçülen yaygın yatay ve direkt normal ışınım değerlerinden belirlenir. Yaygın Yatay Işınım, yalnızca gökyüzü kaynaklıdır ve yatay olarak ölçülür ve birimi metrekare başına watt'tır. Direkt Normal Işınım, yalnızca güneşten gelir ve doğrudan güneşe yönelik bir ışınım ölçer ile ölçülür ve birimi yine metrekare başına watt'tır [7].

Son olarak geometriler gün ışığı analizine tabi tutulmuş, zemin döşemesinden 0.8m yükseklikte belirlenen çalışma düzleminde aydınlık düzeyleri *lux* cinsinden verilmiştir. Buna ek olarak kamaşma analizleri de yürütülmüş, zeminden 1.2m yükseklikte iç mekânda görsel konforsuzlukların oluşma ihtimali irdelenmiş ve güneş ışınımının yeteri seviyede ve kontrollü bir biçimde iç mekâna alınıp alınamadığına bakılmıştır. Analizlerin değerlendirilmesinde TS-EN 12464-1 standardı 5.26 numaralı tablo, 5.26.4 referans numaralı mekân seçeneği kullanılmıştır. Bu standart kapsamında çalışma mekanları için beklenen değerler Tablo 1'de verilmiştir (lx, aydınlık düzeyini; UGRL, kamaşma değerini; U0, aydınlanan yüzeyin homojenliğini yani düzgünlüğünü; son olarak Ra: renksel geri verimi temsil eder).

Tablo 1. Çalışma mekanları için beklenen aydınlık düzeyleri ve diğer değerler (TS- EN 12464-1)[8]

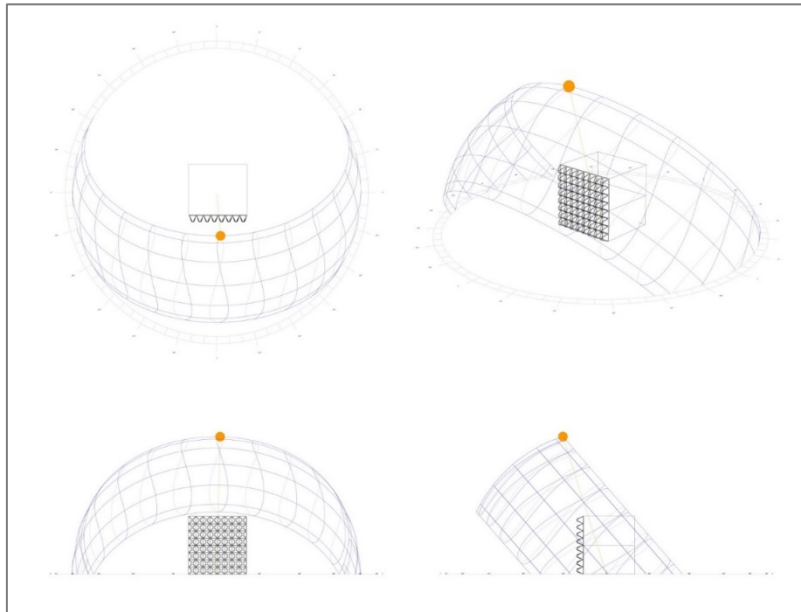
5.26 — Ofisler					
Ref. no.	Alan – Görev – Aktivite Türleri	Ix	UGRL	U0	Ra
5.26.1	Dosya ve fotokopi odaları vb.	300	19	0,4	80
5.26.2	Yazma, tape, okuma ve veri işleme	500	19	0,6	80
5.26.3	Teknik çizim	750	16	0,7	80
5.26.4	CAD çalışma birimleri	500	19	0,6	80
5.26.5	Konferans ve toplantı salonları	500	19	0,6	80
5.26.6	Resepsiyon masası	300	22	0,6	80
5.26.7	Arşivler	200	25	0,4	80

3. ANALİZLER VE SONUÇLAR

Bu bölümde Metot başlığı altında anlatılan 3 farklı kurguya ait geometrilere dair yürütülen simülasyonların sonuçları detaylı bir biçimde ele alınmış ve her bir kurguya ait veriler karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Seçilen tarih ve saatte güneşe göre şekillenen nihai geometriler plan, ön ve yan görünüş ve perspektifler ile verilmiştir. İlk kurguda kare modüllerin kenar boyutunun 1m, ikinci kurguda 2m ve son olarak üçüncü kurguda ise 4m'dir.

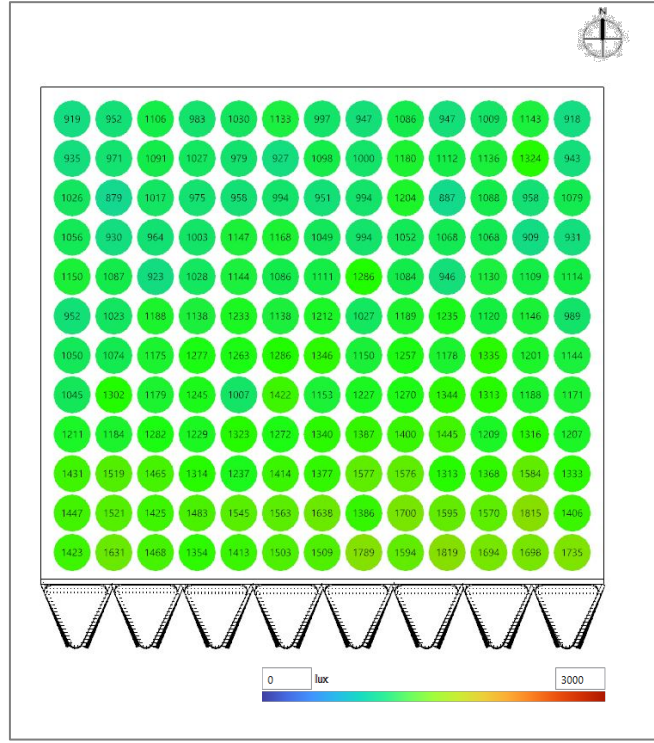
3.1 Analizler

İlk kurguya dair parametrik geometri güneşin izlediği yörünge ile birlikte Şekil 4'de görülmektedir. Bina küp biçiminde olup, her bir kenar boyutu 8m'dir. Analizlerde incelenen zemin katın yüksekliği 4 metre, genişliği 8 m ve derinliği 8m'dir. Zemin kat cephesinde her birinin kenar uzunluğu 1m olan toplam 32 adet kare modül (8x4) bulunmaktadır.



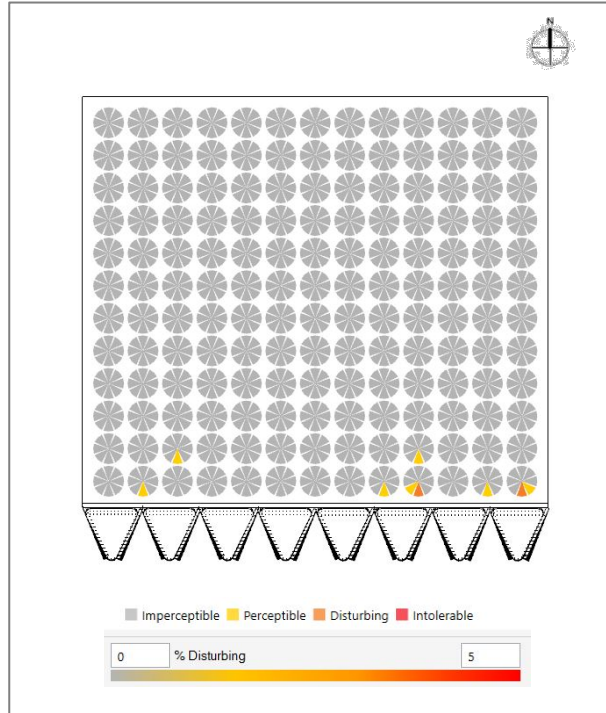
Şekil 4. 1m'lik modüle dair çizimler (plan, perspektif, ön ve yan cepheler).

21 Haziran saat 12.30 için gün ışığı analizi yürütülmüş (*point in time illuminance*) ve çalışma düzleminde aydınlık düzeyleri *lux* cinsinden verilmiştir (Şekil 5). Ortalama aydınlık düzeyi 1122 lux'tür. Standart kapsamında çalışma düzleminde beklenen 500 lx değerinin tüm sensör noktalarında sağlandığı görülmüştür. Kabuğa yakın bölümlerde ortalama aydınlık düzeyi 1500 lx, kabuğa en uzak noktalarda ise 1000 lx civarındadır. Çok ciddi farklılıklar olmasa da tamamıyla homojen bir dağılımdan da söz edilememektedir.



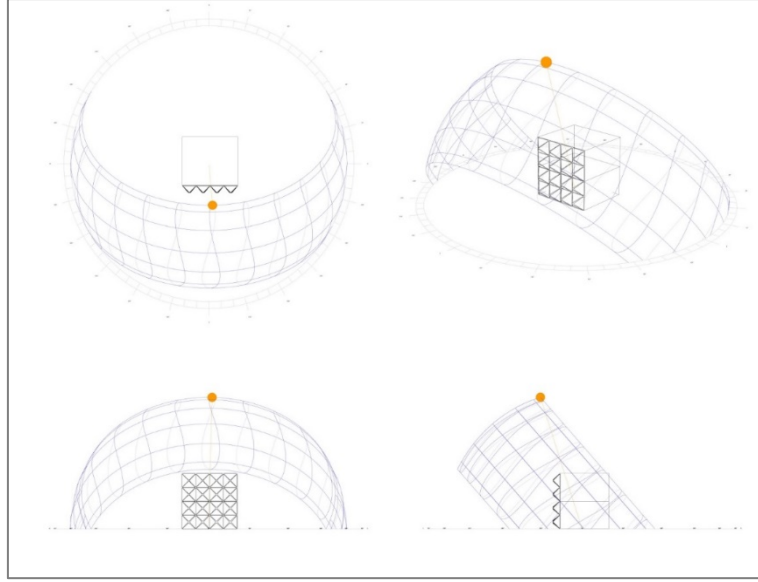
Şekil 5. 1m’lik modüllerden oluşan kabuk kurgusu için çalışma düzleminde aydınlık düzeyleri
(21 Haziran saat: 12.30)

Bu aşamada iç mekânda parlama/ışırma gibi görsel konforsuzlukların oluşma ihtimali irdelenmiştir. Her sensör noktasında 45°’lik aralıklarla farklı bakış yönlerinde kamaşma oluşma ihtimalleri incelenmiştir. Değerler her bir sensör noktası için seçilen saat süresince rahatsız edici olabilecek süre yüzdesi olarak 0-5 aralığında verilmiştir (0= algılanamaz, 5= tolere edilemez). Şekil 6’da güneş ışınımının çoğunlukla kontrollü bir biçimde iç mekâna alındığı görülmektedir. Fakat kabuğa yakın bölümlerde “algılanır” ve “rahatsız edici” kamaşma düzeyleri görülmüştür.



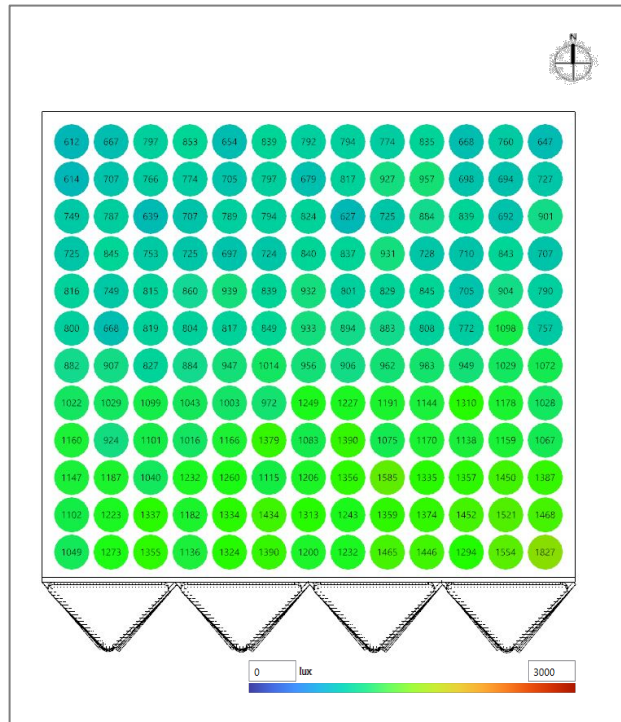
Şekil 6. 1m’lik modüllerden oluşan kabuk kurgusu için oturma düzeni göz yüksekliğinde kamaşma analizi
(21 Haziran saat: 12.30)

İkinci kurguya dair parametrik geometri güneşin izlediği yörünge ile birlikte Şekil 7’de görülmektedir. Bina küp biçiminde olup, her bir kenar boyutu 8m’dir. Analizlerde incelenen zemin katın yüksekliği 4 metre, genişliği 8 m ve derinliği 8m’dir. Zemin kat cephesinde her birinin kenar uzunluğu 2m olan toplam 16 adet kare modül (4x4) bulunmaktadır.



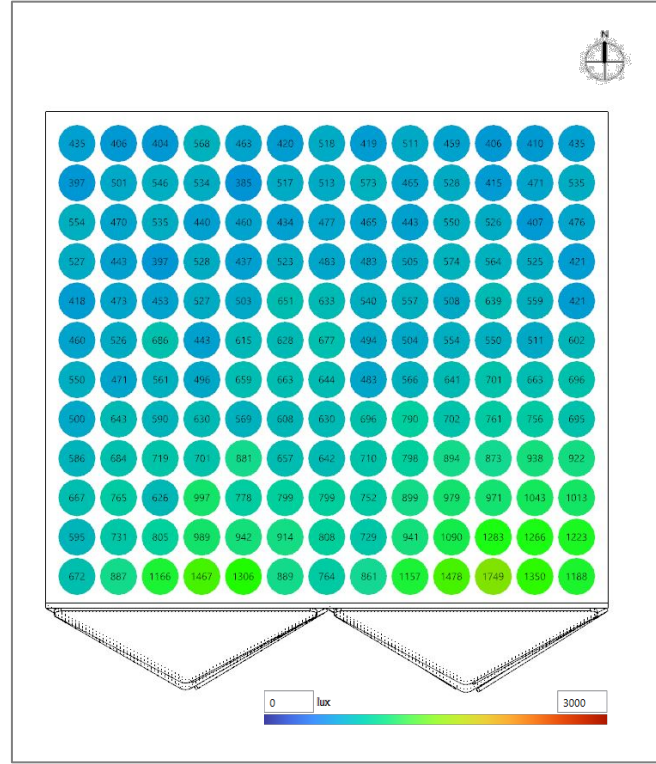
Şekil 7. 2m’lik modüle dair çizimler (plan, perspektif, ön ve yan cepheler).

21 Haziran saat 12.30 için gün ışığı analizi yürütülmüş (*point in time illuminance*) ve çalışma düzleminde aydınlık düzeyleri *lux* cinsinden verilmiştir (Şekil 8). Ortalama aydınlık düzeyi 926 *lux*’tür. Standart kapsamında çalışma düzleminde beklenen 500 *lx* değerinin tüm sensör noktalarında sağlandığı görülmüştür. Kabuğa yakın bölümlerde ortalama aydınlık düzeyi 1300 *lx*, kabuğa en uzak noktalarda ise 700 *lx* civarındadır. Çok ciddi farklılıklar olmasa da tamamıyla homojen bir dağılımdan da söz edilememektedir.



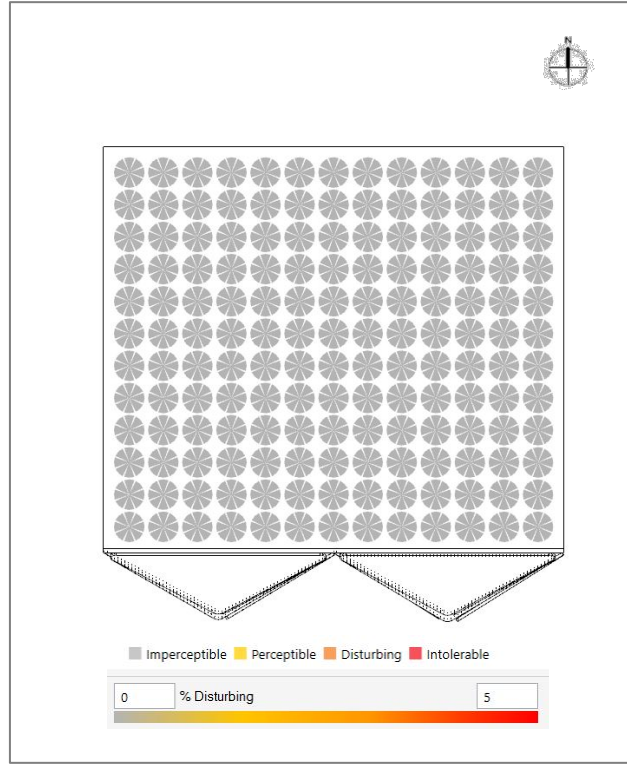
Şekil 8. 2m’lik modüllerden oluşan kabuk kurgusu için çalışma düzleminde aydınlık düzeyleri (21 Haziran saat: 12.30)

21 Haziran saat 12.30 için gün ışığı analizi yürütülmüş (*point in time illuminance*) ve çalışma düzleminde aydınlık düzeyleri *lux* cinsinden verilmiştir (Şekil 11). Ortalama aydınlık düzeyi 584 lux'tür. Standart kapsamında çalışma düzleminde beklenen 500 lx değerinin tüm sensör noktalarında sağlanamadığı ama çoğunlukla bu değere yaklaşıldığı görülmüştür. Kabuğa yakın bölümlerde ortalama aydınlık düzeyi 1100 lx, kabuğa en uzak noktalarda ise 440 lx civarındadır. Çok ciddi farklılıklar olmasa da tamamıyla homojen bir dağılımdan da söz edilememektedir.



Şekil 11. 4m'lik modüllerden oluşan kabuk kurgusu için çalışma düzleminde aydınlık düzeyleri
(21 Haziran saat: 12.30)

Bu aşamada iç mekânda parlama/ışırma gibi görsel konforsuzlukların oluşma ihtimali irdelenmiştir. Her sensör noktasında 45°'lik aralıklarla farklı bakış yönlerinde kamaşma oluşma ihtimalleri incelenmiştir. Değerler her bir sensör noktası için seçilen saat süresince rahatsız edici olabilecek süre yüzdesi olarak 0-5 aralığında verilmiştir (0= algılanamaz, 5= tolere edilemez). Şekil 12'de güneş ışınımının çoğunlukla kontrollü bir biçimde iç mekâna alındığı görülmektedir. Fakat kabuğa yakın bölümlerde “algılanır” ve “rahatsız edici” kamaşma düzeyleri görülmüştür.



Şekil 12. 4m’lik modüllerden oluşan kabuk kurgusu için oturma düzeni göz yüksekliğinde kamaşma analizi
(21 Haziran saat: 12.30)

3.2 Sonuçlar

Her üç kurgu da detaylı olarak incelendiğinde seçilen gün ve saat için güneşi kontrollü bir biçimde iç mekâna aldıkları görülmüştür. 1m’lik modül boyutu kurgusunda aydınlık düzeylerinin en az, 2m’lik modül boyutunda ise en fazla olduğu görülmüştür. Modüller geometrik olarak birebir aynı olmasına rağmen sadece modüllerin ölçeği değişse bile (1m, 2m ve 4m) aydınlık düzeylerinin değişebileceği görülmüştür. Kamaşma analizlerinde ise 1m’lik modül boyutu söz konusu olduğunda kabuğa yakın bölümlerde rahatsız edicilik görülmüş, 2m ve 4m kurgularında rahatsız edicilik görülmemiştir. Bu sonuçlara göre 2m ve 4m seçeneklerinin nispeten daha başarılı olduğu çıkarımı yapılmıştır. Diğer taraftan 4m’lik kurguda her bir katın sadece 2 modüle sahip olması özellikle günün farklı saatleri için kontrol edilebilirliği zorlaştırabilir. Bu noktada her bir katta 8 modüle sahip olan 2m’lik kurgunun güneş ışınlamının kontrolü noktasında çok daha esnek olduğu açıktır. Üretim kolaylığı ve maliyet açısından da yapı kabuğunda toplam 64 modüle sahip 1m’lik kurguya göre daha avantajlıdır. Sonuçlara tüm bu veriler ışığında bakıldığında 2m’lik kurgunun optimum seçenek olduğu görülmüştür.

4. ÇIKARIMLAR

Güneş ışığı açısından görsel konfor sağlanabilmesi adına iç mekanla dış çevre arasında ara yüz görevi gören yapı kabuğu önemli role sahiptir. Özellikle aşırı ısıtım ve kamaşma gibi olumsuz durumlar oluşmaması, mekânın kullanılma amacına bağlı olarak gereken aydınlık düzeylerinin sağlanabilmesi adına tasarım önlemleri alınmalıdır. Yapı kabuğunun değişen güneş ışınlamı koşullarına cevap verebilecek esnekliğe ve dinamikliğe sahip olması gerekmektedir. Çünkü güneş ışınlamı iç mekâna ulaştıktan sonra kontrolü çok daha zor hale gelmektedir.

Bu çalışmada güneş ışınlamını kontrol edebilmek ve iç mekânda görsel konfor sağlamak adına kare modüllerden oluşan bir kabuk sistemi önerilmiştir. Modüllerin boyutu temel değişken olarak alınmış, boyutların farklılaştırılmasıyla elde edilen kurgular ayrı ayrı analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Her bir kurgunun detaylı olarak incelenmesi sonucunda optimize edilmiş parametrik cephelerin iç mekân görsel konforunu sağlamada ciddi anlamda etkin bir rol üstlenebileceği ve boyut faktörünün dikkatle ele alınması gerektiği görülmüştür.

Çalışma kapsamında kullanılan parametrik tasarım araçlarının özellikle optimum tasarımı belirleme noktasında karar vermeyi kolaylaştırdığı görülmüştür. Buna ek olarak, dinamik cepheler söz konusu olduğunda, mimarların bu araçları kullanarak farklı kurguları kolaylıkla test edebilecekleri görülmüştür.

Her ne kadar bu çalışmada modül boyutlarının görsel performansa etkisini incelemeye dair çerçeve bir karar verme mekanizması önerilmiş olsa da çalışmanın yöntemi ileride yürütülecek olası araştırmalar için de kullanılabilir. Özellikle farklı parametrelerin de incelenmesi cephenin ileride karışılabilmesi her koşula etkin biçimde cevap verebilmesini sağlayacaktır. Bu kapsamda yürütülecek simülasyonlarla tasarım süreci geri beslenebilir ve daha ileri düzey bir optimizasyona gidilebilir.

KAYNAKÇA

1. Eltaweel A. ve SU Y., Parametric design and daylighting: A literature review, Renewable and Sustainable Energy Reviews; 73, 1086-1103, 2017.
2. Frazer J., Parametric computation: history and future, Archit Des;86(2),18-23, 2016.
3. Wagdy A. ve Fathy F., A parametric approach for achieving optimum daylighting performance through solar screens in desert climates, Journal of Building Engineering; 3, 155–170, 2015.
4. Choi J. P., Lee T. Y., Ahn E. S., Piao G. S., ve Lim J. H., Evaluation of Parameters for Louver Design Algorithm Based on Direct Solar Radiation Control Performance, Advanced Materials Research; 838, 1917-1922, 2013.
5. Henriques G. C., TetraScript: A Responsive Pavilion, from Generative Design to Automation, International Journal of Architectural Computing; 10(1), 87–104, 2012.
6. Turrin M., Van Den Ham E., Kilian A., Sariyildiz S., Integrated design of a large span roof: a parametric investigation on structural morphology, thermal comfort and daylight. Proceedings of the ICCBE; 2010.
7. Perez R., Seals R., Michalsky J., All-weather model for sky luminance distribution- Preliminary configuration and validation, Solar Energy; 50 (3), 235–245, 1993.
8. TSE, Türk Standardı (TS EN 12464-1), Işık ve Işıklendirme- İş Mahallerinin Aydınlatılması- Bölüm 1: Kapalı Alandaki İş Mahalleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2004.

İNSAN ODAKLI AYDINLATMA: SİRKADİYEN AYDINLATMA TASARIMI VE İÇ MEKAN İLİŞKİSİNİN İRDELENMESİ

Ayşe Nihan Avcı¹, Saadet Akbay²

¹ Çankaya Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, nihanavci@cankaya.edu.tr

² Çankaya Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, akbay@cankaya.edu.tr

Kullanıcının bulunduğu ortam ile ışık aracılığıyla ilişkisini sağlayan gözün yalnızca görme organı olduğu düşünülmektedir; ancak ek sinir bağlantılarının keşfedilmesiyle ışığın insan vücudundaki çok sayıda biyokimyasal sürece nasıl aracılık ettiği ve bu sinir bağlantılarının ışığı nasıl kontrol ettiği bilinir hale gelmiştir. Işığın insan fizyolojisi ve psikolojisi üzerinde özellikle sirkadiyen sistem üzerinde önemli bir etkisi vardır. Sirkadiyen sistem, bir günlük dönemdeki fiziksel, davranışsal ve zihinsel değişikliklerle ilgili olan bir vücut dengesidir. Bu sistem, renk sıcaklığı, renksel geriverim, yoğunluk, parlaklık, parlama, günün herhangi bir saati ve uyarının süresi gibi ışığın karakteristik özelliklerine bağlıdır. İnsan odaklı aydınlatma, insanları ışığa maruz bırakmanın hem görsel hem de görsel olmayan etkilerini dikkate alan, görsel performans ve konfordan uyku kalitesine, uyanıklığa, ruh haline, öğrenme ve uygulamaya uzanan geniş bir çalışma alanına sahiptir. Bu çalışma, iç mekana dair insan odaklı aydınlatmanın nasıl ele alınması gerektiğini, ve bu konu hakkında yapay aydınlatma kullanılarak yapılan çalışmaların insanın sirkadiyen sistemi üzerindeki etkilerinin araştırılması bağlamında nasıl ele alındığını tartışmaktadır.

Anahtar Kelimeler: İnsan Odaklı Aydınlatma, İç Mekan, İnsan Sirkadiyen Sistemi, Sirkadiyen Aydınlatma Tasarımı

Human Centric Lighting: Examining the Relationship Between Circadian Lighting Design and Indoor Environment

The eye is assumed to be the only organ of vision that provides the user's relationship with the environment in it, but due to the discovery of additional nerve connections, it is now understood how light mediates and governs many biochemical processes in the human body. Light has a significant impact on human physiology and psychology, particularly on the circadian system. The circadian system is a bodily balance that deals with physical, behavioral, and mental changes throughout the day. This system is based on the characteristics of light such as color temperature, color rendering, intensity, brightness, glare, time of day, and duration of the stimulus. Human centric lighting covers a broad area of studies, ranging from visual performance and comfort to sleep quality, alertness, mood, learning and practice, while accounting for both the visual and non-visual effects of lighting exposure. This study discusses how human-centric interior lighting should be maintained, and how studies employing artificial lighting on this subject are presented in the context of investigating the effects on the human circadian system.

Keywords: Human Centric Lighting, Indoor Environment, Human Circadian System, Circadian Lighting Design

1. GİRİŞ

Işık, gama ışınlarından radyo dalgalarına kadar değişen radyan enerjidir. İnsan gözü bu enerjiye ultraviyole ve kızılötesi arasındaki görünür spektrum sınırları içinde (380 nm-780 nm) tepki verir. Işık dalgaları bir nesneye veya yüzeye düştüğünde yansır. Bu yansımanın görüntüsü, fotoreseptörler (çubuklar ve koniler) ve özünde ışığa duyarlı retinal ganglion hücreleri (ipRGC'ler) tarafından alınan retinaya odaklanır ve ışık dalgaları gördüklerimizi algılamak için beyne giden sinirsel sinyallere dönüşür [1].

Tarih öncesi dönemde insanlar, ışığın gücünü orman yangınları ve yıldırımlarla keşfettiler. Kendilerini ısıtmak ve kendilerini tehlikelerden korumak için ateşi kullanırlardı. Sonrasında gaz lambasını icat ettiler [2]. 18. yüzyılın sonlarında gelişmiş ülkelerde aydınlatma kaynaklarının parlaklığı ve aydınlatma armatürlerinde kullanılan malzemeler tartışılırken gaz şirketlerinin baskısı ile gazyağı brülörlerinin kullanımı yaygınlaştı.

Sanayi devrimi, 18. yüzyılın ikinci yarısında aydınlatma tekniklerinin geliştirilmesini gerekli kılmıştır. Klasik yöntemlerin performansını artırmak için yeni teknikler keşfedildi; ancak ilerleme Humphry Davy ve Michael Faraday tarafından devam ettirilmiş ve aydınlatma teknolojisinin başlangıç noktası haline gelmiştir [2]. 1854 yılında enkandesan lambaların keşfi ile başlayan yapay aydınlatma teknolojileri, 1987 yılında OLED panellerin bulunmasıyla oldukça yol katetmiştir. İç ve dış mekanda ışığın karakteristik özellikleri çeşitlendirilerek, kullanıcının ihtiyaçlarına göre yapay aydınlatma teknolojilerinin kullanımı artırılmıştır.

2. SİRKADİYEN SİSTEM

Işık, içindeki bir çok karakteristik özellik sebebiyle değişken bir yapıya sahiptir. Renk sıcaklığı, renksel geriverim indisi, kamaşma, parlama ve ışık şiddeti gibi değişken kabul edilen özellikleri ile insan metabolizması üzerinde fizyolojik ve psikolojik etkileri bulunmaktadır. Işık özellikle insanın sirkadiyen sistemi üzerinde de oldukça etkilidir. Sirkadiyen sistem, 24 saatlik bir döngüde davranışsal, zihinsel ve fiziksel değişikliklerle ilgili vücudun dengesidir ve insanın içinde bulunduğu çevre ile doğrudan ilişkilidir. Çevredeki dış uyaranlardan biri olan ışık, görme yoluyla insan vücuduna dahil edilir ve süreç başlar. Sirkadyen görsel olarak, nöroendokrin ve nörodavranışsal tepkilerin işlenmesi retinada başlar [3]. Retina, genel olarak üç adet hücre tipini içerir. Bunlar, optik radyasyonu emen ve elektrik sinyalleri üreten fotoreseptörler (çubuklar ve koniler), sinyal işleme işlevlerini yerine getiren yatay, amakrin ve bipolar hücreler ve son olarak optik siniri oluşturan ve bu sinyalleri beyne ileten ipRGC'lerdir (içsel olarak ışığa duyarlı retina ganglion hücreleri). IpRGC'ler melatonin hormonunun düzenlenmesi ile ilişkilidir. Çubuklar gece görüşü için (loş ışık), koniler gündüz görüşü içindir (parlak ışık). Işıkların kimyasal enerjisinin gözler yoluyla, sonrasında optik sinir, optik yol, görsel korteks, beyin sapı, suprakiazmik çekirdek (SCN), hipotalamus ve epifiz bezi tarafından beyne hareket ettiği süreç, fototransdüksiyon olarak bilinmektedir [4]. Işık bilgisi elektromanyetik enerjiden fotokimyasal uyaranlara dönüştürülür ve burada beyin tarafından SCN aracılığıyla yorumlanmaktadır [5].

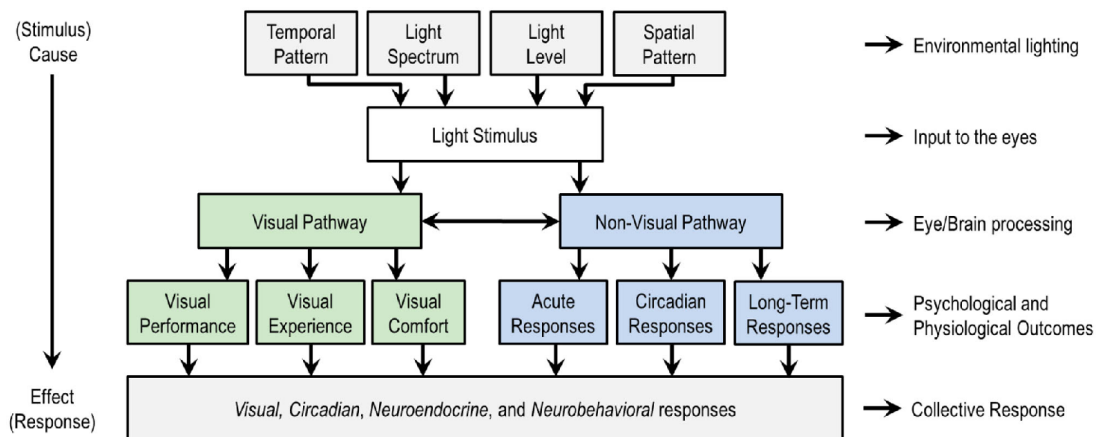
Bir dış uyaran olarak aydınlatmanın insanın sirkadiyen sistemi üzerindeki etkisi düşünüldüğünde, aydınlık-karanlık döngüsünün bu sistem ile senkronize olması gerekmektedir. Melatonin epifiz bezi tarafından üretilen ve kimyasal olarak SCN tarafından düzenlenen hormondur [6]. Esas olarak melatonin salgısı loş ışıktaki veya ışık yokken başlar. Bu hormonun uyku-uyanıklık döngüsü, çekirdek vücut ısısı, yeme ve içme davranışları, ruh hali ve uyanıklık

üzerinde mutlak kontrolü vardır [5]. Kortizol ve melatonin hormonları, uyanıklığı ve uykuyu yönetmede önemli bir rol oynar. Kortizol enerji vermek için kan şekerini yükseltir ve aynı zamanda sabahları vücudu günlük aktivitelere hazırlamak için artar. Sonrasında kortizol yavaş yavaş azalır; ancak gün içerisinde enerji verecek kadar yeterli seviyede kalır ve sonunda gece yarısı minimuma düşer. Sabahları melatonin hormonu düşer, uyku hali azalır ve hava karardığında tekrar yükselir [7]. İnsan vücudundaki metabolik faaliyetler, hormonal denge, korteks çalışması, vücut ısısı, dış uyaran olan ışık ve insan etkileşimi ile düzenlenmiş olur. Sağlık için bu biyolojik ritmin fazla bozulmaması gerekmektedir.

3. İNSAN ODAKLI AYDINLATMA

İnsanlar, değişen ihtiyaçlar sebebiyle dış mekanlardan çok iç mekanlarda vakit geçirmeye başlamış, bu bağlamda yapay aydınlatmanın önemi giderek artmıştır. Aydınlatma ve insan ilişkisinin sağlıklı ve konforlu olarak kurulabilmesi amacıyla “İnsan Odaklı Aydınlatma” kavramı ortaya çıkmıştır. İnsan odaklı aydınlatma fikrinin ortaya çıkışı ironiktir; çünkü aydınlatma her zaman insan odaklı olmuştur. Boyce, aydınlatmanın, ışığı kullandığını ve ışığın da insanın görsel sisteminin tepkisine dayanması bakımından temel fiziksel nicelikler arasında benzersiz olduğunu belirtmiştir [8]. İnsan odaklı aydınlatmadan bahsedenlerin kastettiği, insanları ışığa maruz bırakmanın hem görsel hem de görsel olmayan etkilerini göz önünde bulunduran ve görsel performans ve konfordan uyku kalitesi, uyanıklık, ruh hali gibi olası etkilerin yelpazesini genişletmektir.

İnsan odaklı aydınlatma, ışığın görsel ve görsel olmayan etkileri hakkında yeni anlayışları bir araya getirirken, aynı zamanda insan görüşüne dayanan aydınlatma kalitesinin geleneksel unsurlarını dikkate alan aydınlatma çözümlerini tanımlamayı amaçlayan bir deyimdir [9]. Şekil 1, ışık ve insan sonuçları arasındaki uyaran-tepki ilişkisinin bir şemasıdır [10]. Görsel ve görsel olmayan tepkilerin şematik bir alt bölümü ile ışık ve insan tepkileri arasındaki uyaran tepkisi ilişkisine genel bir bakış bulunmaktadır. İlk dört kategori, ister aydınlatma deneylerinde ister yapıllı çevrenin tasarımında olsun, bir ışık uyarınının tasarımında manipüle edilebilen aydınlatma değişkenleridir. Bu kategoriler zamansal model, ışık seviyesi, ışık spektrumu ve uzaysal modeldir. Işık uyarınının bu dört yönü, Şekil 1'in ortasında gösterildiği gibi, ışığa verilen görsel ve görsel olmayan tepkileri etkilemek için manipüle edilebilir. Görsel tepkiler, görmeyi sağlayan, görsel performansa, duygusal tepkileri içeren görsel deneyime ve görsel rahatlığa ya da parlamada olduğu gibi görsel rahatsızlığa katkıda bulunan göz-beyin tepkileridir. Görsel olmayan tepkiler, ışığın biyolojik tepkilerin veya fizyolojik tepkilerin görüntü oluşturmaya (NIF) etkileri olarak da adlandırılabilir.



Şekil 1. Işık ve insan tepkileri arasındaki uyaran-tepki ilişkisine genel bir bakış [10]

Aydınlatma tasarımı ile ilgili kararlar hakkında, örneğin görsel ve görsel olmayan sonuçların ele alınarak bir çerçeve sunmak gibi, bugün yeterince şey bilinmektedir. Bunun için kullanılan beş aşamalı süreç, halihazırda iyi kurulmuş aydınlatma tasarım süreçlerini güçlendirir ve insan odaklı aydınlatma tasarım konseptlerini tasarım uygulamasına entegre etmek için kullanılabilir [9]. İlk adım, uygulamanın birincil görevlerini, etkinliklerini, buna bağlı istenen sonuçları veya operasyonel hedefleri belirlemektir. İkinci adım, uygulamanın, sadece gündüzleri ya da geceleri aktif olan insanları mı yoksa her ikisini birden içerip içermediğini belirlemektir. Örneğin gündüz aktif olan insanlar, sabah ve gündüz biyolojik gücü yüksek insanlardır ve akşamları düşük biyolojik gücü olan ve geceleri ise mümkün olduğunca az biyolojik gücü olan ışıktan yararlanır. Üçüncü adım, kullanıcıların uyku ihtiyaçlarını tespit etmektir. Kullanıcının gündüz aktif mi, gece aktif mi yoksa her ikisi mi olacağını belirlemek gerekmektedir. Dördüncü adım ise insan merkezli aydınlatma tasarımıdır., bilimsel anlayış ve uygulama kılavuzu arasındaki boşluğu kapatmaya çalışan endüstri yönergeleri tarafından bilgilendirilebilir. Çeşitli kuruluşlar sayesinde (Society for Light and Lighting and the Illuminating Engineering Society (IES), The WELL Building Standard (WELL) and Underwriters Laboratory (UL)) insan odaklı aydınlatma için gerekli bilgiler edinilerek, kullanıcının refahı ve konforu için aydınlatma tasarımları gerçekleştirilmektedir [11, 12, 13]. Beşinci ve son adım ise, edinilen bütün bilgilerin harmanlanması olarak tanımlanmaktadır. Aydınlatma tasarımı, rekabet eden kriterlerin dikkate alınmasını gerektirir. Görsel ve görsel olmayan tasarım hedefleri arasındaki ilişkileri dengelemek için öncelik sırası gerekebilir. Örneğin, gün boyunca parlak ışığın, gün boyunca aktif olan insanlar için görsel olmayan sonuçlarını daha iyi desteklemesi beklenir. Ancak, ışık parlamaya neden olacak kadar parlaksa üretkenlik düşebilir. Kısacası insan odaklı aydınlatma tasarımı, kullanıcı-mekan ilişkisinin fiziksel ve psikolojik özellikler göz önünde bulundurularak dengelenmesi temeline oturmaktadır.

4. İÇ MEKAN UYGULAMALARI

Açık havada doğal yaşama maruz kalan bir insan için sirkadiyen sistem, gün doğumu ve gün batımı ile doğal ışığın döngüsü ile senkronize olur. Sabahın erken saatlerinde yüksek miktarda ışığa maruz kalmak faydalı olabilir, çünkü biyolojik saati doğru şekilde tetiklemeye yardımcı olur. Aynı zamanda geceleri sirkadiyen sistem üzerinde etkili olan ışık kullanımından kaçınılmalıdır; çünkü melatonin üretimini azaltmanın veya yavaşlatmanın yanı sıra insanın doğal olan sirkadiyen ritmini bozma etkisi de vardır. Işığın sirkadiyen sistemi etkilediği doğruysa, bu eylemin gerçekleşme biçiminin iç mekana göre dış mekandakinden farklıdır. İç mekanlarda ışığın miktarı ve kalitesi dışarıda bulunandan farklıdır. İç mekanlardaki doğal ışık miktarı, dış mekandan çok daha düşüktür. Çoğu zaman gün içinde bile, doğal ışığın varlığından bağımsız olarak yine de yapay ışık kullanılmaktadır. Dolayısıyla iç mekanlarda dışarıya oranla daha az miktarda ışık vardır ve bu, insanların iç mekanlarda bulunduğu süre boyunca sirkadiyen sistemlerini doğru şekilde uyaramayabilir [13].

Literatürde ışığın farklı karakteristik özellikleri ele alınarak, insan odaklı aydınlatma konusu kapsamında çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Araştırmalar, iç mekan aydınlatma sistemlerinin doğrudan sirkadiyen sistem üzerindeki etkisinden bahsetmese de, araştırılan konuların bu alan ile ilişkisi bulunmaktadır. 1967 yılında ABD'de Salt ve Karmel'in ve 1992 yılında İsveç'te Küller ve Lindsten'in yaptığı çalışmalar, pencerelerin ve doğal ışığın varlığının psikofizyolojik iyi oluş ve öğrenci performansı üzerindeki önemini göstermiştir [14, 15]. Penceresiz sınıflarda olumlu psikofizyolojik ve performans etkilerinin olmadığı da kanıtlanmıştır. Revell ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, sırasıyla 420, 440, 470 ve 600 nm'de dört farklı dalga boyundaki ışığın 12 katılımcı üzerindeki görsel olmayan (ruh hali, uyanıklık gibi) etkilerini araştırmayı amaçlamıştır [16]. 420 nm dalga boyuna sahip ışıktaki, 470 nm'deki ve hatta 600

nm'deki ışığa kıyasla daha yüksek uyanıklık seviyesi gözlemlenmiştir. Huiberts ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, 4700 K renk sıcaklığına sahip aydınlatma ile üç farklı aydınlık düzeyi (165, 600 ve 1700 lux), katılımcılar üzerinde sabah ve öğleden sonra 90 dakika boyunca kalp ritimleri ve çalışma belleği (beynin yürütücü işlevi) değerlendirilmiştir. Daha güçlü aydınlatma koşulu olan 1700 lux'e bir saat maruz kalan katılımcılarda çalışma belleği performansında ve kalp atış hızında artış kaydedilirken, 600 lux'lük aydınlık durumu için önemli etkiler kaydedilmemiştir. Ek olarak, deneye katılanlar, güçlü olan iki aydınlık seviyesini önemli ölçüde daha uyarıcı olarak değerlendirmişlerdir [17]. Teixeira ve arkadaşları, Brezilya'da akşam kurslarına katılan üniversite öğrencileri üzerinde bir araştırma yapmışlardır. Sonuçlar, 4000 K renk sıcaklığı ile 8000 lux gibi yüksek düzeyde aydınlık seviyesine sahip yapay aydınlatma kullanımının tüm öğrencilerde uyanıklık düzeyini artırdığını göstermiştir. Araştırma, bu etkiyi yüksek aydınlık düzeyi sebebiyle melatonin üretimindeki azalmaya bağlamıştır [18]. Rossi ve Casciani'nin yapmış oldukları çalışmada, doğal ışığın yaşlıların refahına olan katkısını ve iç mekanlarda ışığın gözle görülemeyen etkilerini araştırmak için, bir saha vaka çalışması ile doğal ışık koşulları araştırılmıştır. Sonuçlar, yaşlı insanların, iç mekanlarda gözle görülemeyen tepkilerinin aktivasyonu ve dolayısıyla sirkadiyen sistemlerinin senkronizasyonu için önemli olan sabah saatlerinde ve ilkbaharda düşük seviyelerde doğal ışığa maruz kalabileceğini göstermiştir [19]. Ek olarak, insan algısı neredeyse hiçbir zaman doğrudan ışık kaynaklarından değil, daha çok çevrenin yüzeylerine yönelmiştir. Bu nedenle iç mekanda yapılan aydınlatma tasarımlarında bu kriterin de gözetilmesi gerekmektedir. Kullanıcının maruz kaldığı ışığın izlenmesi [20] veya konfor, ruh hali, performans ve memnuniyet düzeyi gibi ek parametrelerin öznel değerlendirmesine dayanan diğer araştırma yöntemleri önem teşkil etmektedir [21]. Figueiro ve arkadaşları, iki farklı yapay aydınlatmanın (LED ve yüksek basınçlı cıva buharlı lamba) melatonin baskılanması üzerindeki etkilerini araştırmak için bir çalışma yürütmüştür. Çalışmada kornea, 18 lux LED ve 450 lux cıva buharlı aydınlatma ile oluşturulmuştur. Melatonin bastırma ve göz bebeği daralmasının, cıva buharlı aydınlatmada LED aydınlatmaya göre daha fazla olduğu bulunmuştur [22].

5. SONUÇ

Gözdeki yeni bir fotoreseptörün keşfi sayesinde bir çok araştırma ile birlikte aydınlatma, iç mekan ve kullanıcı arasındaki ilişki geniş bir perspektiften incelenmiş, hem fiziksel etkileri, hem de psikolojik etkileri (sağlık, refah, uyanıklık vb.) tartışılmıştır. Güneşten ve gökyüzünden gelen ışık, sirkadiyen sistemi destekleyen döngüyü, aydınlık/karanlık oranını doğal olarak sağlarken, zamanımızın çoğunu iç mekanlarda geçirdiğimiz varsayıldığında yapay aydınlatma önemli bir role sahiptir. Bu bağlamda, aydınlatma sektörü üreticilerinin insan odaklı aydınlatma tasarım prensiplerini göz önünde bulundurarak, iç mekanlarda daha konforlu ve sağlıklı bir çevre oluşturmayı destekleyen üretimlerde bulunmaları önerilmektedir. İnsan odaklı aydınlatma tasarımı göz önünde bulundurulduğunda, iç mekanlarda doğru aydınlatma, kullanıcılara daha iyi iş performansı (hız), daha az hata, daha iyi güvenlik, daha az kaza ve daha iyi üretkenlik gibi avantajlar sağlamaktadır. Yapay aydınlatma teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte, son teknolojilerden biri olan OLED aydınlatmanın da görsel konfor ve performans üzerindeki etkileri araştırılmaya başlanmıştır [23]. OLED aydınlatmanın, telefon, tablet, televizyon ve otomobil endüstrisinde kullanımı haricinde, iç mekanlarda kullanımının insan odaklı aydınlatma tasarımı ve insan sirkadyen sistemi üzerine gelecek araştırmalar ile etkisinin incelenmesi ve buna benzer çalışmaların artırılması hedeflenmiştir.

KAYNAKÇA

1. Baucom, A. H., Hospitality design for the graving generation: Meeting the needs of a growing market. Cilt 1, John Wiley, ISBN: 978-0-471-13789-4, New York, 1996.
2. Montoya, F. G., Peña-García, A., Juaidi, A., Manzano-Agugliaro, F., Indoor lighting techniques: An overview of evolution and new trends for energy saving, Energy and Buildings; 140, 50-60, 2017.
3. Rea, M. S., Figueiro, M. G., Light as a circadian stimulus for architectural lighting. Lighting Research & Technology; 50(4), 497-510, 2018.
4. Boyce, P.R., Human Factors in Lighting, Cilt 3, Taylor ve Francis, Boca Raton, 2003.
5. McKellip, Michael L., An analysis of the effects of light emitting diode (LED) lamps in a windowless classroom environment on occupants' mood, well-being, general health assessment, and performance. Doktora tezi, Capella Üniversitesi, Amerika Birleşik Devletleri, 2008.
6. Cassone, V. M., Melatonin and suprachiasmatic nucleus function. Suprachiasmatic nucleus: the mind's clock (Eds DC Klein, RY Moore and SM Reppert). Oxford Üniversitesi, Oxford, 309-323, 1991.
7. Van Bommel, W. J., Non-visual biological effect of lighting and the practical meaning for lighting for work, Applied Ergonomics; 37(4), 461-466, 2006.
8. Boyce, P., Exploring human-centric lighting, Lighting Research & Technology; 48, 101, 2016.
9. Houser, K. W., Esposito, T., Human-centric lighting: Foundational considerations and a five-step design process, Frontiers in Neurology; 12, 25-38, 2021.
10. de Kort YAW, Veitch JA., From blind spot into the spotlight: introduction to the special issue 'Light, lighting, and human behaviour', Journal of Environmental Psychology; 39, 1-4, 2014.
11. International Well Building Institute. WELL Building Standard v2, Q3 2020 Versiyon. Section L03: Circadian Lighting Design. <https://v2.wellcertified.com/v/en/light/feature/3>, 2020, 01.08.2021.
12. DiLaura, D. L., Houser, K., Mistrick, R., Steffy, G. R., The lighting handbook: reference and application., New York, 2011.
13. Rossi, M., Circadian Lighting Design in the LED Era. Cilt 1, Springer, ISBN 978-3-030-11087-1, İsviçre, 2019.
14. Salt, S., Karmel, L. J., The windowless school. The Clearing House, A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas; 42(3), 176-178, 1967.
15. Küller, R., Lindsten, C., Health and behavior of children in classrooms with and without windows. Journal of Environmental Psychology; 12(4), 305-317, 1992.
16. Revell, V. L., Arendt, J., Fogg, L. F., Skene, D. J., Alerting effects of light are sensitive to very short wavelengths. Neuroscience Letters; 399(1-2), 96-100, 2006.
17. Huiberts, L. M., Smolders, K. C. H. J., de Kort, Y. A. W., Non-image forming effects of illuminance level: Exploring parallel effects on physiological arousal and task performance. Physiology and Behavior; 164, 129-139, 2016.
18. Teixeira, L., Lowden, A., da Luz, A. A., Turte, S. L., Moreno, C. R., Valente, D., ..., Fischer, F. M., Exposure to bright light during evening class hours increases alertness among

- working college students. *Sleep Medicine*; 14(1), 91-97, 2013.
19. Rossi, M., Casciani, D., The spring natural lighting chromaticity in interior: a case study for elderly people, 11. Uluslararası Renk Kongresi, AIC, Portekiz, 25-29 Eylül 2018.
 20. Figueiro, M. G., Why field measurements of circadian light exposure are important. *Lighting Research & Technology*; 45(1), 6, 2013.
 21. Veitch, J. A., & Newsham, G. R., Lighting quality and energy-efficiency effects on task performance, mood, health, satisfaction, and comfort. *Journal of the Illuminating Engineering Society*; 27(1), 107–129, 1998.
 22. Figueiro, M. G., Bullough, J. D., Parsons, R. H., Rea, M. S., Preliminary evidence for spectral opponency in the suppression of melatonin by light in humans. *Neuroreport*; 15(2), 313-316, 2004.
 23. Avcı, A.N., Memikoğlu, İ., Evaluating Effectiveness of LED and OLED lights on user visual comfort and reading performance. *A|Z ITU Journal of the Faculty of the Architecture*; 18 (2), 397-411, 2021.

KULLANICI VE KÜLTÜR MERKEZLİ AYDINLATMA TASARIMI: MUSKAT VİLLA AYDINLATMA TASARIMI PROJESİ ÜZERİNDEN BİR DEĞERLENDİRME

Levent Furgaç¹, Banu Manav², Zeynep Kaban³

¹ Proje Yöneticisi/ Yüksek İçmimar/ Zeynep Fadıllıoğlu Tasarım, e-posta: levent@zfdesign.com

² Prof.Dr, Kadir Has Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi V.Dekanı, İçmimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü,
e-posta: banu.manav@khas.edu.tr

³ Aydınlatma Tasarımcısı / Yüksek İçmimar, e-posta: izkaban@gmail.com

Aydınlatma tasarımı kültüre göre değişim gösteren bir yapıya sahiptir. Tasarım sürecinde kullanıcıyı merkeze alan, ihtiyaç listesini kullanıcı odağında belirleyen, projenin coğrafi konumu ile şekillendiren yaklaşımlar ile özelleşmek bu proje çalışmasının ana çatkısını oluşturmuştur. Kullanıcı merkezli aydınlatma, kullanıcının görsel konfor koşullarının, standartların ötesinde yapay çevreyi sorgulayan bir sistem tasarımı ve kavramıdır. Aydınlatma tasarımında aydınlık düzeyi, ışık kaynağının renk sıcaklığı, renksel geriverim özellikleri, parıltı kontrastı gibi ölçümsel büyüklükler tanımlanmış olmasına karşın, fiziksel çevre etkisine karşı oluşan duygu ve ihtiyaç durumu kişiye göre farklılık göstermektedir. Aydınlatma tasarımı, projenin yapıldığı doğal ve yapay çevreyi kapsadığı gibi, kullanıcı profilini de kapsamaktadır. Mimari özellikler ele alınırken, kullanıcı odaklı çözüm önerileriyle birlikte kültürel etkenler de tasarım sürecine katılmalıdır. Kültürel etkenler, aydınlatmanın optimum çözüm önerilerinin ötesine geçebilir. Buna etki eden kişisel tercihler, beğeni düzeyi, alışkanlıklar, çevre etkisi vb koşullar aydınlatma tasarımına konu olabilir. Bu süreçlerle birlikte aydınlatma tasarımında karmaşık fonksiyonlar tek bir bina tipolojisi içinde birlikte yer alabilir. Örneğin, bu çalışmaya konu olduğu gibi konut tipolojisi eşgüdümlü olarak müze eve dönüşebilir. Aydınlatma tasarımında ele alınması gereken çözüm önerileri, güncel teknolojiler, enerji etkin tasarım, aydınlatmanın nitelik boyutu gibi konular, kullanıcı odaklı parametrelerle doğru eşleşmediğinde süreç tamamlanamamaktadır. Bu süreci doğru yürütmek için Muskat Villa Aydınlatma Projesi'nde, 1900 m2 kapalı alanı olan bir villada, LED tabanlı aydınlatma sistem tasarımıyla, güncel teknolojiler ve sistemler kullanılarak, bütüncül tasarım yaklaşımıyla, farklı aydınlatma senaryolarıyla kişiye özel tasarımlar yapılmıştır. Müze evde, farklı büyüklüklerde ve özelliklerde 2000 parça sanat eserinin aydınlatılması için yine LED tabanlı aydınlatma sistem tasarımı yapılmıştır. Yapma sistem tasarımında yapının yer aldığı coğrafi bölgenin ve yapının bulunduğu arazinin özellikleri dikkate alınırken, içmimari ve mimari tasarımla uyumlu geliştirilen detaylarla, sergilenen sanat eserlerinin niteliğine, kullanıcı alışkanlıklarına dikkat edilmiştir. Kültürel etkenlerden kaynaklanan aydınlatma armatürü, aydınlık düzeyi, renk ve malzeme seçimlerinde enerji etkin tasarım ilkelerini sağlamak için kullanılan yöntemlerle aydınlatma tasarımının çevreye etkisine dikkat edilmiştir. Bu çalışmada, karma fonksiyonların bir arada olması koşulunda, aydınlatma tasarımındaki öncelik alanlarının belirlenmesi, aydınlatmadaki güncel teknolojilerin “kullanıcı merkezli tasarım” bakış açısıyla, konsept üretme sürecinden başlayarak projeye nasıl eklendiği ve önemi tartışılacaktır. Bununla birlikte kültürel farkların aydınlatma kararlarına olan etkisi ve proje sürecindeki etkisi anlatılarak süreçteki deneyim paylaşılacaktır.

Anahtar kelimeler: Kullanıcı Odaklı Aydınlatma, Konut Aydınlatması, Sergileme Sistemleri, Kültür.

Lighting Design Focused on End-User and Culture: An Evaluation of Muscat Villa Lighting Design Project

This study examines the impact and contribution of end user desired functions, cultural influence on lighting design in context of a residential project developed in Muscat, Oman. The objectives of the study reflects significances of the geographical location, building typology, end-user expectations with respect to the regional culture while implementing multifunctional requirements and evaluating perceptual diversities on lighting design. Technical and functional requirements followed by up-to-date implementations are also discussed in context of lighting related power consumption, luminaire

types and lighting techniques as well as definition of visual comfort and perception. The profound impact of various type of interior surface finishes along with a range of artifacts to be displayed are discussed in context of customized lighting design. As experienced in Muscat Villa Project, this study concludes and states that, the lighting design developed with high consideration of the cultural influences and end-user demands, would result with the optimum comfort level in lighting design. Nevertheless, designer shall always propose adjustable and up to date lighting options to maintain end-users comfort level in lighting design.

Keywords: User Oriented Lighting, Residential Lighting, Display Systems, Culture.

1.GİRİŞ

Aydınlatma tasarımı, bina tipolojisinden bağımsız olarak, kullanıcı konforuyla ilişkili parametreleri kapsamaktadır. Günümüzde, aydınlatma tasarımından beklenen yalnızca mekana ışık uygulamak değil, aynı zamanda kullanıcı için en uygun senaryoyu seçmektir. Aydınlatma tasarımı bileşenleri makro çevreden (projenin yapıldığı doğal çevre) mikro çevreye (hacim ölçeğinde kullanıcı kuşatan yapıli çevre) kadar farklı ölçekteki bileşenleri kapsamaktadır [1]. Bununla birlikte, mimari ve iç mimari proje çözüm süreçleriyle eşgüdömlü geliştirildiğı için aydınlatma tasarımı bu sürece dahil edilerek kullanıcı ihtiyaçlarına yönelik çözüm önerilerini de kapsamaktadır. Yapının mimari özellikleri ele alınırken, kullanıcı odaklı çözüm önerileri, kültürel etkenler, kişisel tercihler, beğeni düzeyi, alışkanlıklar, çevre etkisi vb koşullar aydınlatma tasarımına konu olabilir.

Aydınlatma tasarımı kültüre göre değişim gösteren bir yapıya sahiptir. Tasarım sürecinde kullanıcıyı merkeze alan, ihtiyaç listesini kullanıcı odağında belirleyen, projenin coğrafi konumu ile şekillendiren yaklaşımlar ile özelleşmek iyi planlanmış bir aydınlatma tasarımı için kaçınılmazdır. İklimsel etkenlerin kişilerin tercihleri üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Örneğın, sıcak iklim bölgesindeki kişilerin soğuk ışık kaynaklarını, soğuk iklim bölgesindeki kişilerin sıcak ışık kaynaklarını tercih ettikleri çeşitli kaynaklarda yer almaktadır [2,3]. Lambaların renk sıcaklıklarıyla aydınlık düzeyi arasındaki ilişkiyi araştıran çalışmalar, farklı renk sıcaklığındaki lambalar altında mekan izleniminin değiştiğini, örneğın düşük aydınlık düzeylerinde soğuk ışık kaynaklarının kişilerin mekan izlenimlerini olumsuz etkilediğini göstermiştir [3].

Kullanıcı merkezli aydınlatma, kullanıcının görsel konfor koşullarının, aydınlatmayla ilgili standartların ötesinde sorgulandığı bir süreçtir. Bu durumda aydınlatma tasarımına etki eden kullanıcı odaklı parametreler sosyal etkiler, fiziksel etkiler, zihinsel etkiler olarak sıralanabilir.

Sosyal etkiler, kişinin duygu durumunun ortama bağılı nasıl etkilendiğı, mekana karşı aidiyet durumu gibi etkenlerdir. Bu konuda Awada ve diğ tarafından yapılmış bir çalışmada sağlıklı bina tasarımında etki eden değişkenler tanımlanmış ve aydınlatma tasarımıyla olan ilişkisi açıklanmaktadır [4]. Fiziksel etkenler, görme eylemine etki eden fiziksel konfor parametrelerini içermektedir. Aydınlatma tasarımında aydınlık düzeyi, ışık kaynağının renk sıcaklığı, renksel geriverim özellikleri, parlıltı kontrastı gibi ölçümsel büyüklükler tanımlanmış olmasına karşın, fiziksel çevre etkisine karşı oluşan duygu ve ihtiyaç durumu kişiye göre farklılık göstermektedir. Zihinsel etkiler, biliş ile ilgili mekanın deneyimlenmesi sonucunda kullanıcı ile arasında oluşan duygu durumuna bağılı olarak beliren depresif, dikkat toplama, uyanıklık vb sonuçlar ile ilgilidir. Biliş yeteneğine bağılı oluşan algılama, mekan tanımlamaya yönelik davranışlar üzerinde etkilidir [5]. Algılama sürecinde kısa ve uzun süreli izlenimler belirebilir. Her iki durumda biliş ve algıya bağılı bir yargı belirir ve belirli bir koşul karşısındaki izlenim şekillenir [2].

Bu süreçlerle birlikte aydınlatma tasarımında karmaşık fonksiyonlar tek bir bina tipolojisi içinde birlikte yer alabilir. Örneğin, bu çalışmaya konu olduğu gibi konut tipolojisi eşgüdümlü olarak müze eve dönüşebilir. Aydınlatma tasarımında ele alınması gereken çözüm önerileri, güncel teknolojiler, enerji etkin tasarım, aydınlatmanın nitelik boyutu gibi konular, kullanıcı odaklı parametrelerle doğru eşleşmediğinde süreç tamamlanamamaktadır. Bu çalışmada, karma fonksiyonların bir arada olması koşulunda, aydınlatma tasarımındaki öncelik alanlarının belirlenmesi, aydınlatmadaki güncel teknolojilerin “kullanıcı merkezli tasarım” bakış açısıyla, konsept üretme sürecinden başlayarak projeye nasıl eklendiği ve önemi tartışılacaktır. Bununla birlikte kültürel farkların aydınlatma kararlarına olan etkisi ve proje sürecindeki etkisi anlatılarak süreçteki deneyim paylaşılacaktır.

2. PROJE ALANININ VE AYDINLATMA TASARIMININ TANITILMASI

Proje Arap yarımadasının güneydoğusunda Umman Şehrinde yer almaktadır. Kıyıda sıcak ve nemli, iç kesimlerde sıcak ve kuru iklim görülmektedir. Projelendirilen yapı Muscat şehri'nin Bausher olarak adlandırılan yüksek bir mevkiinde, denize, şehire ve dağlara hakim, her cephesi ayrı görseellikle manzaraya sahip bir villadır. Yedi dönümlük bir arazi içerisinde projelendirilen villanın sergi alanlarıyla birlikte spa, yüzme havuzu, spor salonu, dış mekan açık ve kapalı oturma alanları gibi ayrı fonksiyonlara sahip alanları da planlanıp projelendirilmiştir.

2.1 Muskat Villa Aydınlatma Tasarımı Projesi

Yapının cephe kaplaması, arazinin arkasında bulunan dağların renklerinden esinlenilerek seçilmiştir. Projede, Muskat'ın nemli ve sıcak hava koşullarına dayanıklı, Andezit taşı kullanılmıştır. Yöresel mimari ve İslamî mimari referans alınarak geliştirilen mimari cephe çözümleri ve taş işçiliği motifler bir araya getirilerek özgün bir tasarım oluşturulmuştur. Balkonların ve teraslarının yerleşiminde fonksiyon ve manzara faktörlerine dikkat edildiği için cephe aydınlatması, mimari unsurları, vurgulayacak şekilde yapının formunu, kontürlerini dikkate alarak planlanmıştır. Total mimari çözüm anlayışı ilkesiyle, cephenin dışından iç mekan çözümlerine, kadar aydınlatma tasarımı aynı bakış açısıyla planlanmış, müze ev kapsamında tüm önemli mimari detaylar ve eserler vurgulanmıştır.

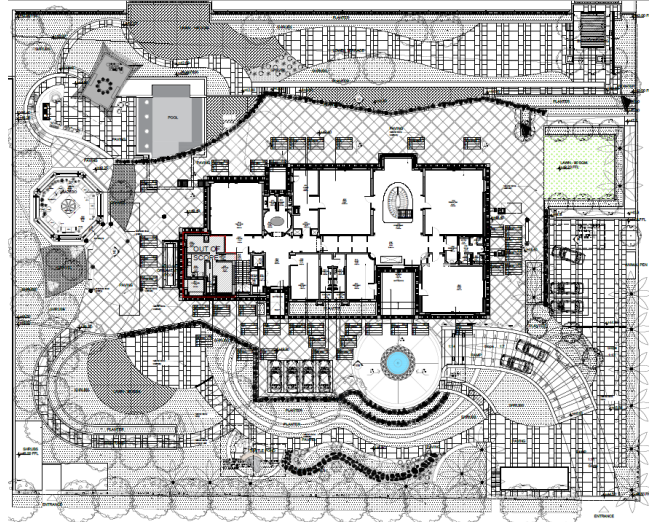
Aydınlatma projesi şematik olarak çalışılmış, cephenin geometrik formuyla uyumlu, cephede vurgulanması istenilen mimari öğelere dikkat edilerek, andezit taşına uygun renksel özelliklere sahip lambalar (renk sıcaklığı 2700K; Ra>85) seçilerek öneriler geliştirilmiştir. Bütüncül bir planlamayla, cephe aydınlatmasındaki tasarıma yön veren kavramsal ilkeler, yapının içerisinde, kullanıcının taleplerine yönelik fonksiyon, sergileme ve genel aydınlatma prensipleri ile zenginleştirilerek devam ettirilmiştir. Şekil 1a ve Şekil 1b cephe aydınlatmasıyla ilgili yaklaşımı, Şekil 2 villanın çevresiyle ilişkisini ve vaziyet planını göstermektedir.



Şekil 1a. Yol/Giriş Cephesi,



Şekil 1b. Deniz- Şehir Cephesi (tasarım ZF Design)



Şekil 2. Vaziyet Planı, (tasarım : ZF Design)

Aydınlatma projesi, mimari proje ve içmimari konseptte uygun olarak planlanan “müze ev” kavramı üzerinden geliştirilmiştir. Müze; sergileme sistem tasarımları ile görsel algıda seçicilik, ziyaretçilere açık olma durumunu gerektirirken, ev; aidiyet, kişiye özel tasarım, kişiye özel alan yaratılması gibi durumları ortaya çıkarmıştır. Konut aydınlatmasında tanımlı alanlara ilave olarak iki ve üç boyutlu eserler için sergi yüzeylerinin tanımlanması, sergilenecek ürünlerin gruplandırılması, nitelik ve niceliklerine göre gerekli detayların geliştirilmesi projede ele alınmıştır. Konutun kişiye özel olarak tanımlanan konfor parametrelerine ek olarak, sergileme tekniklerinde güncel teknolojiyle ışığın etkisini göstermek üzerinden tasarım geliştirilmiştir.

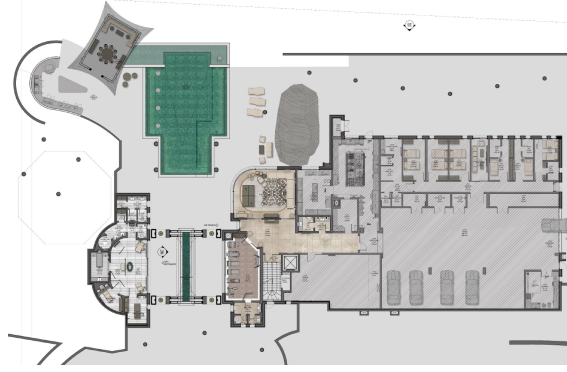


Şekil 3a. Zemin Kat Planı, (tasarım: ZF Design)



Şekil 3b. 1. Kat Planı, (tasarım: ZF Design)

Sergilenen eserler arasında ışığa duyarlı eser grubu kontrolü yapılmış, nadide eser olmadığı için ek önlem alınmamıştır. Sergi yüzeyleri yatay, düşey olarak konumlandırılarak, eser grupları ve boyutlarına uygun iç mimari detaylara lambalar noktasal ışık kaynağı olarak, vurgu aydınlatması yapacak şekliyle elektrik tesisatına entegre edilecek şekilde planlanmıştır. Şekil 3a ve Şekil 3b, Zemin ve 1. Kat planlarını, Şekil 4, bahçe kat planını ve genel yerleşimi göstermektedir. Villa içinde her kotta ve mahalde sergilenen eserler olduğu için aydınlatma konusu, genel aydınlatmaya ek olarak özel olarak çalışılmıştır. Örneğin Şekil 4’te verilen bahçe kat planı üzerinde, bahçe kotunda yer alması düşünülen eserler, peyzaj planlamayla bütünleşecek yay yolu üzerinde eserlerin konumu gibi durumlar tasarıma esas teşkil etmiştir.



Şekil 4. Bahçe Katı Planı, (tasarım: ZF Design)

2.2 Aydınlatma Tasarımında Dönüşüm: Fonksiyon ve Teknik

Konutlar, kullanıcının kişisel tercihlerini yansıtan yaşam alanlarıdır. Bu yaşam alanlarından oluşan konut binalarında tüketilen aydınlatma enerjisi, dünyada ve ülkemizde önemli bir yer tutmaktadır. Konunun enerji verimliliği ve kullanıcı konforu açısından önemi bilinmektedir. Konfor kavramı, aydınlatma alanında görme eylemini doğru bir şekilde yerine getirebilmek ile ilgilidir. Çevremizdeki nesneleri doğru renk ve formlarında görmek, eylem alanlarının (örneğin konut yaşam alanında oturma alanı, yemek masası, şömine, tv ünitesi, ayna önü gibi) doğru aydınlatılması, hacim içinde sert gölgelerin olmaması, kamaşma sorununa neden olacak parlak yüzeylerden kaçınmak gibi konular görsel açıdan doğru ve konforlu ortamlar yaratmak için gereklidir. Diğer taraftan enerjinin etkin kullanımı, doğru ışık kaynaklarının seçimi ve uygulanması dikkat edilmesi gereken konular arasındadır.

Muskat Villa Aydınlatma Tasarımı Projesi, yalnızca bir konut projesi olmanın ötesinde, kullanıcının farklı ürün koleksiyonlarına sahip olması ve bunların sergilenmesinin istendiği, sık aralıklarla kalabalık misafir gruplarının ağırlandığı mekanlara sahiptir. Bu şekilde, içmimari tasarım sürecinde müze ev gibi planlanmış ve aydınlatma tasarımı bu doğrultuda geliştirilmiştir. Şekil 5, giriş holünü ve üst kata bağlanan merdiven kovanını göstermektedir. Merdiven kendi içinden aydınlatılmış, her iki yanında yer alan nişlerin içi ile duvar yüzeyleri noktasal ışık kaynaklarıyla vurgulanmış, downlight olarak seçilen armatür gruplarıyla aydınlatılmıştır. Mermer kolonlar endirekt ışık etkisiyle vurgulanırken, görsel algının lüks, etkileyici, yüksek, ferah gibi duygu durumları şeklinde olması isteğiyle, iç mimari öğeler ışığın etkisiyle ön plana çıkartılmıştır.



Şekil 5. Giriş holü, (görsel tasarım : ZF Design)

Muskat Villa Aydınlatma Projesi'nde, 1900 m2 kapalı alanı olan bir villada, LED tabanlı aydınlatma sistem tasarımıyla, aydınlatma senaryoları uygulanmış, bütüncül tasarım yaklaşımıyla, farklı mahaller için kişiye özel tasarımlar yapılmıştır. Bu yönüyle konut tasarımı koşullarını karşılarken, müze evde, farklı büyüklüklerde ve özelliklerde 2000 parça sanat eserinin aydınlatılması için yine LED tabanlı aydınlatma sistem tasarımı yapılmıştır. Sanat eserleri duvar yüzeylerine asılan ve kaideler üzerinde sergilenen iki-üç boyutlu biçimleriyle; tespih koleksiyonundan takı, resim, değerli objelere kadar farklı çeşitte ve büyüklüktedir. Bu koleksiyonlar konutun çeşitli katlarında sergilenmekte olup, ürün çeşidine bağlı detaylar geliştirilmiştir. Tüm sistem tasarımında dimmerlenebilir esnek bir sistem önerisi geliştirilmiştir. Algıda yaratılmak istenilen yaklaşıma göre ilgili mahal (zone) için aydınlatma senaryoları oluşturulmuştur.

Yapma sistem tasarımında yapının yer aldığı coğrafi bölgenin ve yapının bulunduğu arazinin özellikleri dikkate alınırken, içmimari ve mimari tasarımla uyumlu geliştirilen detaylarla, sergilenen sanat eserlerinin niteliğine, kullanıcı alışkanlıklarına dikkat edilmiştir. Kullanıcının beğenileri doğrultusunda seçilen armatür ve avizelerin bazılarının bir sanat eseri olarak tavandan yönlendirilmiş downlight ile ayrıca aydınlatılması önerilmiştir.

Kültürel etkenlerden kaynaklanan seçimler içmimari tasarıma ve aydınlatma tasarımına etki etmektedir. Örneğin, kullanıcıların “parlak, lüks, aydınlık olmalı” diye tanımlamalarının karşılığı içmimaride standartlarda verilen aydınlık düzeyi ve parıltı değerlerinin üzerinde bir planlamayla sağlanabilmektedir. Aydınlatma tasarımında bu nedenle revizyonlar olmuş ve armatür sayısı artmıştır, ancak enerji etkin tasarımın gereği olarak “dimmerlenebilir” sistem önerisi proje genelinde sağlanmış ve döşeli tesisatın bu şekilde uygulanması tavsiye edilmiştir.

Aydınlatma sistem tasarımı mimari aydınlatma ve dekoratif aydınlatma olarak iki temel grup içinde ele alınmış ve teknik şartname hazırlık süreci bu kapsamda yürütülmüştür. Şekil 7, giriş katındaki sergi holünü göstermektedir. Tavandan sarkıt avizeler mimari aydınlatma için kullanılırken, duvardaki kişisel koleksiyonun teşhiri için içten aydınlatmalı bölgesel bir çözüm önerisi kullanılmıştır. Mekandaki cam seperasyon, duvar boyası ve mermer yüzeylerin ışık yansıtma oranları, aydınlatma armatürlerinin ışık dağılım özellikleri, kullanılan lambaların renksel özellikleri, parıltı değerleri gibi konular göz önüne alınarak aydınlatma tasarımında görsel konfor parametreleri sağlanmıştır.



Şekil 7. Giriş holünde yer alan tespih koleksiyonu ve sergilenen ürün çeşitliliği (görsel tasarım : ZF Design)

Projede 2700K ve 3000K renk sıcaklığında, $Ra > 80$, ışık kaynakları seçilmiş, konut projesi olarak sıcak ve samimi bir ortam yaratılması gerektiği fikri ön planda tutulmuştur. İçmimari tasarımda seçilen malzemeler ve dokular işverenin “lüks, sık, konforlu” anlayışına uygun olarak geliştirildiği için parlak ve dokulu duvar yüzeyleri, mermer, cam ve ayna yüzeyler, naturel ve parlak cilalı ahşap yüzeyler, kumaşlar olarak sıralanabilir. Şekil 8, müze evde yer alan oturma odasından bir perspektifi göstermektedir. Duvar yüzeyleri resim ve objelerin sergilendiği düzlemler olarak yer alırken, bazı eserler kaideler üzerinde sergilenmiştir. Aydınlatma tasarımında tüm yüzeyleri eşit düzeyde aydınlatmak yerine, duvara dikkati çekerek, yine ışık kaynağının etkisini göstermek konusuna özen gösterilmiş, üç boyutlu etkiyi kuvvetlendirecek biçim ve konumda noktasal ışık kaynakları seçilmiştir.



Şekil 8. Müze evde yer alan oturma odasından bir perspektif (görsel tasarım : ZF Design)

3. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, Umman’da konut olarak tasarlanmış bir yapıda, işverene ait ikibin adet farklı büyüklükte ve özellikte eserin sergilenmesi istenmiştir. Bu nedenle, projede bir müze ev yaklaşımıyla çözüm üretilmeye çalışılmıştır. Mimari ve içmimari tasarım sürecinde, proje geliştirilirken değer öncelikleri ortaya çıkmaktadır. Bu değer önceliklerine bağlı olarak projenin genel kurgusu çalışılmaktadır. Bu projedeki değer öncelikleri, 2.1 ve 2.2 bölümlerde belirtildiği gibi işverenin kişisel tercihleri olmuştur. Kültürel farklara bağlı olarak “parlak, lüks” kavramları yeniden ele alınmış, aydınlatma tasarımı revize edilmiştir.

Günümüzde konutlarda işletme aşamasındaki enerji maliyetleri göz önüne alındığında, ısıtma ve soğutma sistemlerinin yanı sıra, enerji tüketiminin önemli bir bölümünü aydınlatma sistemleri oluşturduğu bilinmektedir [6]. Bu bilinçle proje geliştirilmiş, ancak kullanıcı tercihlerine bağlı armatür sayısı arttırılmıştır. Enerji kaynaklarını doğru kullanmak adına, tüm sistem dimmerlenebilir olarak önerilmiş, konsept proje ve şematik tasarım geliştirme süreçlerinde mimari tasarım ofisi ve aydınlatma tasarımı projesini geliştiren ekip birlikte çalışmış, gerekli toplantılarla optimum çözüm önerileri geliştirmiş ve teknik şartnameleri bu şekilde düzenlemişlerdir.

Bu projenin planlama ve tasarım geliştirme sürecinde deneyimlendiği gibi, coğrafi bölgenin fiziksel etkileri, kullanıcı alışkanlıkları ve istekleri tüm proje sürecinde çok etkilidir. Mimar, içmimar ve aydınlatma tasarımcısının kullanıcı alışkanlıklarını değiştiremediği noktada güncel teknolojiler, esnek çözüm önerileri kullanılmakta ve proje süreci doğru bir planlamayla yönetilebilmektedir. Kullanıcı odaklı yapılan tasarımlarda konfor koşullarının sağlandığı bilinmektedir.

KAYNAKÇA

1. Manav B., Kutlu R., Küçükdoğu M., “A Systematic Analysis of Lighting Design From Macro to Micro Scales in Sustainable Architecture”, TMMOB Chamber of Architects, October 2009, Proceedings, 151-153, International Ecological Architecture and Planning Symposium, Antalya, Turkey, 2009.
2. Manav B., Ofislerde Aydınlik Düzeyi, Parıltı Farkı ve Renk Sıcaklığının Görsel Konfor Koşullarına Etkisi: Bir Model Çalışması, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2005.
3. The IESNA Lighting Handbook- Reference and Application (2000), ed: Mark Rea, 9. BManav, B. “Bir Tasarım Problemi: Aydınlatmada Kalite ve Biyoriitm”, *III. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu'2005 Bildiriler Kitabı*, 95-99, Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Ankara, 2005.
4. Awada ve diğ., Ten Questions Concerning Occupant Health in Buildings During Normal Operations and Extreme Events Including Covid-19 Pandemic, Building and Environment, 188;1-11, 2021.
5. Lang J., Creating Architectural Theory, Van Nostrand reinhold, New York, 1993.
6. Kaymaz E., Manav, B., Kapalı Konut Sitelerinde Görsel Konfor ve Aydınlatmaya Bağlı Enerji Tüketiminin Değerlendirilmesi: Bursa Balat Örneği, 12. Ulusal Aydınlatma Kongresi, 19-20 Eylül 2019, İstanbul, 2019.

UZAKTAN ÇALIŞMA ÇAĞINDA EV- OFİS İÇİN İNSAN MERKEZLİ AYDINLATMA DEĞERLENDİRMELERİ

Uçman Tan¹, Dilay Kesten Erhart² Ayşegül Tereci³

¹ KTO Karatay Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, ucmantan@gmail.com

² Stuttgart Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Akıllı Şehir Çözümleri Yüksek Lisans Programı, dilay.kestenerhart@hft-stuttgart.de

³ KTO Karatay Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, aysegul.tereci@karatay.edu.tr

İnsan Merkezli Aydınlatma, kullanıcı sağlığını ve refahını destekleyen bir çözüm sunarak üretkenlik düzeyini yükseltip iş gücünü artıran, ofis aydınlatması çözümlerinde son zamanlarda büyüyen bir güç haline gelmiştir. Covid-19 tarafından tetiklenen kapanmalar dünya çapında ofis binalarını boşaltsa da bu durum yapılması gereken işi durdurmuyarak ve birçok şirket çalışanları için uzaktan çalışma modellerine geçmiştir. Yeni ev-ofis ortamına ayak uydurmaya çalışan kullanıcılarıyla birlikte ev-ofis mobilyaları ve cihazları da önem kazanmıştır. Aydınlatma açısından ev-ofis ortamındaki gereksinimlerin tespiti ve çözüm önerilerinde insan merkezli aydınlatma değerlendirilerek enlem dereceleri ve güneşlenme süreleri farklı olan iki şehirde (İstanbul ve Stuttgart) bulunan ev ofis ortamı için analizler yapılmıştır, çözüme dair senaryolar bilgisayar ortamında simülasyon programlarının yardımıyla karşılaştırılmıştır. Son olarak da çalışma ortamına kurulması gereken yeni donanım için bir maliyet analizi yapılmıştır. Çıkan sonuçlar göstermektedir ki insan sağlığı ve psikolojisi için daha uygun aydınlatma koşulları amortize edilebilen maliyetlerle yakalanabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: İnsan Merkezli Aydınlatma, Ev-Ofis, Görsel Konfor, Maliyet Analizi

Human-Centric Lighting Assessments for Home - Office in the Age of Telecommuting

Human-Centric Lighting, the enhancement of productivity and the workforce through a solution that supports the health and well-being of users, has recently become a growing market for office lighting. Although the lockdowns triggered by Covid-19 have resulted in office buildings being emptied, this has not stopped works that needs to be done and many companies have moved to teleworking models. Home office furniture and equipment have also become more important as their users try to adapt to the new home office environment. In identifying the lighting requirements for the home office environment, human-centric lighting was evaluated as a proposed solution. Analyses were conducted for the home office environment in two cities (Istanbul and Stuttgart) with different latitudes and sunlight hours. Finally, a cost analysis was made for the hardware to be installed in the work environment. The results show that better lighting conditions for human health and psychology can be achieved with lower costs.

Keywords: Human-Centric Lighting, Home -Office, Visual Comfort, Cost Analysis

1. GİRİŞ

Avrupa komisyonunun çalışmaları [1, 2], AB'deki ofis profesyonellerinin yaklaşık %40'nın COVID-19 salgını sırasında evde kalma zorunluluğu nedeniyle evden çalıştığını göstermektedir. Ayrıca bir bütün olarak AB'de uzaktan çalışılabilir (home-office) sektörlerdeki istihdamın tüm istihdama göre yaklaşık %25 oranına sahip olduğu tahmin edilmektedir. Salgından önce AB'de çalışanların sadece %15'inin şimdiye kadar uzaktan çalışma yaptığı düşünüldüğünde, çok sayıda işçi ve işverenin, büyük olasılıkla, ani uzaktan çalışmaya geçişle başa çıkmada zorluklarla karşı karşıya olduğu düşünülmektedir. Yeni ev-ofis ortamına ayak uydurmaya çalışan kullanıcılarıyla birlikte ev-ofis mobilyaları ve cihaz satışları genel olarak

artmıştır. “Nesnelerin İnterneti teknolojisinin” (IoT) yakın zamanda iç pazara girmesiyle birlikte evden çalışma trendinin kalıcı olacağı öngörülmektedir.

Ev-ofis ortamına uyum sağlamaya çalışan bireyler, uzaktan çalışma modelinde, tüm çalışma paydaşlarıyla dijital platformlar üzerinden iletişim kurarak yapılması gereken işleri yürütmeye çalışmaktadır. Ayrıca son derece hazırlıksız karşılaşılan bu süreçte yeterli ergonomik koşulları sağlayabilecek profesyonel ekipman ve altyapıya sahip olmadıkları dikkat çekmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda [3] insanlar vakitlerinin yaklaşık %90’ini iç mekanlarda geçirmektedirken pandemi süreciyle birlikte bu oran daha da artmıştır. Bununla birlikte ev ile ofis ortamı arasındaki farklılıklardan biri de doğal ışık eksikliğidir. Ofis binalarının cephe tasarımında doğal ışıktan faydalanmak için maksimum çaba gösterilirken bir yandan da ofis binalarında yaygın olarak kullanılmaya başlayan İnsan Merkezli Aydınlatma (HCL), son on yılda binalardaki doğal ışık seviyesini aktif olarak artırmıştır. COVID sonrası oluşan yeni normalde ev, çalışma ortamları için bir niş oluşturdukça, sağlık, esenlik ve üretkenliği artıran aydınlatma sistemleri için yeni bir gereksinim ve pazar ortaya çıkmıştır.

İnsan Merkezli Aydınlatma, insanlarda belirli biyolojik süreçleri tetiklemek için tasarlanmış sistemleridir. İnsan Merkezli Aydınlatma, ışığın belirli dalga boylarını insanlardaki biyolojik döngülerle ilişkilendiren nispeten yeni bilimsel keşifleri içermektedir. İnsan biyolojisinin ve psikolojisinin, gözdeki reseptörler ve sirkadyen sistem aracılığıyla güneş ışığının günlük ritimleriyle içsel olarak bağlantılı olduğunu kabul eder. Yaşam tarzı, çalışma ritmi ve kişinin biyolojik birçok faktörle birlikte vücudumuzun çalışmalarını en başta gün ışığı belirlemektedir. [4]. Bu noktada doğanın 24 saatlik ritmi ile paralel olarak serotonin, melatonin ve kortizol hormonlarının çalışmasıyla düzenlenen vücudun günlük ritmi özellikle dikkat, stres algısı ve mutluluk ile ilgili pek çok psikolojik unsuru kontrol etmeyi sağlamaktadır [5]. Ayrıca yapılan pek çok çalışmada ışığın insanlar üzerinde psikolojik ve biyolojik etkileri olduğunu desteklemektedir [6, 7, 8, 9]. Günışığının önemli olumlu etkilerine karşılık, yapay aydınlatma gün ışığının yetersiz olduğu durumlarda faaliyetlerin devamını sağlarken insanların sirkadyen ritimlerine zarar verebilmektedir. Işık insanlarda hormon üretimi, uyanıklık ve bilişsel performans olmak üzere bir dizi fizyolojik ve davranışsal tepkilere neden olmaktadır. Özellikle insan merkezli aydınlatma olarak geliştirilmemiş pek çok aydınlatma sistemi sirkadyen ritim için veya diğer fizyolojik ve davranışsal tepkileri teşvik etmek için yeterli ışığı sağlamamaktadır [10]. Bu noktada önemli unsurlardan birisi de renk sıcaklığıdır. Özellikle günışığının sahip olduğu döngüsel renk sıcaklıklarının bu aydınlatmada yakalanması hedeflenmektedir. İnsan Odaklı Aydınlatma tasarımlarında, insanların görsel ve biyolojik ihtiyaçları aydınlatma uygulamalarına dahil edilmektedir. Doğal aydınlatma tabanlı tasarlanan alanlarda çevresel ritimle daha rahat ilişki kurulurken, yapay aydınlatma ile bu daha zor sağlanmaktadır. Işığın yoğunluğu, rengi ve dinamikleri açısından doğal ve elektrik ışığı arasında bir tutarsızlık bulunmaktadır. Bu nedenle insan merkezli aydınlatma tasarımında da bu ritme uygun ışık kaynaklarının ya da sistemlerinin kullanılması desteklenmektedir. Bu aydınlatma tasarımında ışık belli senaryolar ve otomasyonla yönetilerek, mekânın kişinin doğal çevreye uyumunu sağlayacak şekilde düzenlenmesi sağlanmaktadır.

2015 yılında pek çok alanı kapsayacak şekilde yapılan araştırmada özellikle insan merkezli aydınlatmadan endüstride fayda sağlanacağı belirlense de ofisler içinde ciddi bir verimlilik artışı hesaplanmıştır. 200 kişinin çalıştığı ofis için insan merkezli aydınlatmaya geçilmesiyle birlikte %85’lik verimlilik artışı görülmüştür ve çalışanlarda daha az hastalıktan dolayı işe gelmeme görülmüştür [11]. Yine aynı çalışmada ofis alanında özellikle ev-ofis alanında ilerleme olacağı öngörülmüştür. Bu noktada ev-ofis çalışmaları biraz daha farklı bir alana oturmaktadır.

Bu noktada insan merkezli aydınlatma uygulamasının önemli noktalarından bir tanesi de ofis ile ev- ofis ortamı arasındaki farkların ve benzerliklerin ortaya koyulması gerekmektedir. Ofislerde özellikle son yıllarda açık ofis uygulamaları ile çalışanların aynı mekânda farklı çalışma düzlemlerinde çalışıyor olmalarıyla birlikte genel bir aydınlatma ile masalarda ise kişiye özel aydınlatmadan faydalanılmasıdır. Bu alanda önemli unsurlardan birisi de bilgisayar kullanımının ofis işlerinin nerdeyse tamamı için kullanılmasıyla birlikte ekranda oluşabilecek çeşitli aydınlatma sorunları da çözülmesi gereken problemlerden birisi olmaktadır. Bu noktada ev-ofis ortamında genellikle çalışma alanı bir niş olarak kalırken evin genelinde istenilen rahatlama, uyuma ya da mutfak işleri gibi pek çok faaliyetten farklı aydınlatma koşullarına bu alanda ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple yapılan aydınlatma tasarımında bu alanların geçişlerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Burada ev ile ilgili bu bölgelerin iyi bir şekilde belirlenerek özellikle çalışma düzleminde görsel açıdan gerekli görme koşulları sağlanırken, biyolojik ritme uygun ve insanların özellikle çalışma alanında psikolojik olarak en önemli unsurlardan birisi olan konsantre olmalarına yardımcı bir aydınlatma düzenlemesine ihtiyaç duyulmaktadır. Burada kullanıcının kişisel özellikleriyle birlikte bir senaryo dahilinde bu alanlarda aydınlatma kontrolü sağlanması gerekmektedir.

Bu çalışmada İstanbul ve Stuttgart koşullarında farklı iklimsel özellikleri de dikkate alarak, dış çevreyle uyumlu aydınlatma senaryoları oluşturularak bunlar ile ilgili bilgisayar ortamında simülasyonlar yapılacaktır. Bu noktada çalışmada Grasshopper eklentisi LadyBug/Honeybee Tools [12, 13] kullanılarak gerçekleştirilen simülasyonlarda hem standartlarla belirlenen aydınlatma koşullarının yeterince sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilirken bir taraftan da fotopik ve melanopik değerlerin oranı insan merkezli aydınlatma tasarımı kriterlerine uygunluğu değerlendirilecektir. Bu sayede ev-ofis aydınlatılmasında insan merkezli aydınlatma doğrultusunda gerçekleştirilen senaryolar arasındaki farklılıklar ve alınan aydınlatma değerleri karşılaştırılabilecektir.

2. MATERYAL-METHOD

Doğal aydınlatma hesapları açısından iki farklı enlemde bulunan Stuttgart (48.7758° N, 9.1829° E) ve İstanbul (41.0082° N, 28.9784° E) şehirleri için modelleme yapılmıştır ve bu yerlere ait güneşlenme süreleri ve radyasyon değerleri Tablo1’de verilmiştir. Binada diğer çevresel engellerin etkisini devre dışı bırakmak için çevresinde herhangi başka bir bina ya da gölgelemeye sebep olacak engel tanımlanmamıştır.

Tablo 1. İstanbul ve Stuttgart illerinin Güneşlenme Süresi (saat-yıl) ve Radyasyon Değeri (KWh/m2-yıl) değerleri

İL	Güneşlenme Süresi (saat-yıl)	Radyasyon Değeri (KWh/m2-yıl)
İstanbul	2446	1612
Stuttgart	1776	1116



Şekil 1. Simülasyon yapılan ev-ofis modeli

İnsan merkezli aydınlatma değerlendirmesi yapmak için örnek uygulama alanı olarak belirlenen ofis kullanımlı konut alanının modeli oluşturulmuştur. Modellenen alan 4.5-6.5m olan bir yaşama alanıdır. Mekânda çalışma köşesi olarak bir masa yer almaktadır. Çalışma masası beyaz lake kaplamadır. Yaşama alanında tavanın yansıtma çarpanı %70, duvarları %50, zeminin ise %30dur. Bunun yanında diğer tüm kullanılan tefriş elemanlarını da yansıtıcılık değerleriyle birlikte modelde tanımlanmıştır. Uygulama alanı Kuzeybatıya bakan pencerelerle gün ışığı almaktadır bununla birlikte yaşam alanı için bir genel aydınlatma ve ofis köşesi için masa aydınlatması yer almaktadır. Bu bağlamda modellenen ofis Şekil 1.'de görülmektedir. Masa üzerinde insan merkezli masa aydınlatması yapılmıştır. Burada kullanılan Şekil 2'de görülen ışık kaynağı, renk sıcaklığı değiştirme özelliğine sahiptir ve sirkadyen ritme uyum göstermektedir. Bu doğrultuda sabah saatlerinde daha aktif ve tempolu olmayı destekleyecek şekilde daha soğuk renk sıcaklığında çalışmakta iken öğleden sonra akşam saatlerine doğru ise dinlenme ve rahatlamaya geçmeye yardımcı olacak şekilde sıcak renkte ışık sunmaktadır.



Şekil 2. Simülasyonlarda kullanılan LED Masa üstü modülü [14]

Oluşturulan senaryo doğrultusunda örnek değerlendirme yapmak üzere 21 Aralık, 21 Mart, 21 Haziran ve 23 Eylül tarihleri için gün ışığı simülasyonları yapıp simülasyonlar doğrultusunda yapay aydınlatma ile ilgili kararlar alınmıştır. Simülasyon günlerinde sabah 8.00, öğlen 12 ve akşam 18:00 saati için hesaplama yapılmıştır. Yapılan değerlendirmelerde öncelikle Stuttgart ve İstanbul için yapay aydınlatma olmadan günışığı simülasyonları yapılmıştır. Şekil 3'de 21 Haziran için öğlen elde edilen aydınlık düzeyleri görülmektedir. Yapılan bu günışığı değerlendirmesinin arkasından elde edilen sonuçlar doğrultusunda gerekli yapay aydınlatma ile çalışma alanına destek verilmiştir.



Şekil 3. Stuttgart için 21 Haziran 12:00 günışığı simülasyonu.

3. ÇALIŞMA BULGULARI

Tablo 2. Stuttgart 21 Mart, 21 Haziran ve 23 Eylül tarihleri, 21 Aralık tarihleri sabah, öğlen ve akşam saatleri için yapılan günışığı simülasyon değerleri

Tarih/Saat/YER	E _{min} (oda)	E _{max} (oda)	E _{ort} (masa)
21Mart/08:00/Stuttgart	25	725	280
21Mart/12:00/Stuttgart	60	1830	720
21Mart/18:00/Stuttgart	25	585	250
21Haziran/08:00/Stuttgart	50	1400	550
21Haziran/12:00/Stuttgart	50	1570	530
21Haziran/18:00/Stuttgart	135	5000	1020
23Eylül/08:00/Stuttgart	30	860	350
23Eylü/12:00/Stuttgart	75	1900	760
23Eylü/18:00/Stuttgart	20	550	185
21Aralık/08:00/Stuttgart	0.4	13	5
21 Aralık /12:00/Stuttgart	35	1060	450
21 Aralık /18:00/Stuttgart	0	0	0

Belirlenen günler ve saatlerde Stuttgart için yapılan günışığı simülasyonlarında elde edilen değerler Tablo 2’de yer almaktadır. Bu doğrultuda çalışma yapılacak masa üstünde günışığı ile elde edilen aydınlık düzeylerine bakıldığı zaman Mart, Eylül ve Aralık ayları için öğle saatindeki simülasyon dışında çalışma ortamının mutlaka yapay aydınlatma ile desteklenmesi gerekmektedir. Bununla birlikte sadece Haziran ayında gün boyunca masa üstünde 500 lüks’ün üstünde aydınlık düzeyi elde edilmiştir. Yaşama mekânı olarak da kullanılan odanın içinde ise özellikle cam kenarında oldukça yüksek aydınlık düzeyi elde edilirken geri kalan alanlarda mutlaka yapay aydınlatma ile yaşama mekanının desteklenmesi gerekmektedir.

Tablo 3’de görüldüğü üzere aynı odanın İstanbul koşulları için yapılan günışığı simülasyonlarında yine benzer bir eğilim gözlemlenmektedir. Haziran ayı dışında diğer simülasyonlarda öğle saatlerinde masa düzleminde 500 lüks değerinin oldukça üstünde bir aydınlık düzeyi elde edilirken sabah ve akşam saatlerinde Stuttgart verileri kadar olmasa da yine de yapay aydınlatma desteğine ihtiyaç duyulmaktadır. Oda içinde cama çok yakın alanlarda oldukça yüksek değerler elde edilmesine rağmen odanın genelinin yapay aydınlatma ile desteklenmesi gerekmektedir. Bu noktada seçilen oda yönünün kuzeybatı olması nedeniyle bu veriler elde edilmiştir. Bunun yanında çevresel etkiler tamamen değerlendirmenin dışında bırakılarak yapay aydınlatma desteği farkı enlemler açısından değerlendirileceği için aynı odanın İstanbul verilerine bakılmıştır. İki oda içinde yapay aydınlatma desteği bu veriler doğrultusunda kurgulanmıştır.

Tablo 3. İstanbul 21 Mart, 21 Haziran ve 23 Eylül tarihleri, 21 Aralık tarihleri sabah, öğlen ve akşam saatleri için yapılan günışığı simülasyon değerleri

Tarih/Saat/YER	Emin (oda)	Emax (oda)	Eort (masa)
21Mart/08:00/İstanbul	35	950	365
21Mart/12:00/ İstanbul	63	1960	730
21Mart/18:00/ İstanbul	18	480	160
21Haziran/08:00/ İstanbul	56	1540	585
21Haziran/12:00/ İstanbul	45	1472	435
21Haziran/18:00/ İstanbul	110	1945	745
23Eylül/08:00/ İstanbul	40	1065	413
23Eylü/12:00/ İstanbul	60	2015	760
23Eylü/18:00/ İstanbul	7	177	63
21Aralık/08:00/ İstanbul	10	308	110
21 Aralık /12:00/ İstanbul	43	1508	610
21 Aralık /18:00/ İstanbul	0	0	0

Bu aydınlatma sonuçlarıyla birlikte mekân içinde masa üstüne bakacak şekilde alınan veri, Grasshopper içerisinde yer alan dönüştürücü elemanlar ile TIF formatlı görüntülere dönüştürülmüştür ve ‘False Color’ haritaları çıkartılmıştır. Parlaklık dağılımı için elde edilen simülasyon verileriyle fotopik ve melanopik değerlerin oranı çalışma düzlemi seviyesinde insan merkezli aydınlatma tasarımı kriterlerine uygunluğu incelenmiştir. Masa üzerinde belirlenen noktanın RGB (Red, Green, Blue) değerleri bulunmuştur ve dönüşüm matrisleri ile bu oran hesaplanmıştır [15]. Yüzey üzerinde belirlenen noktalardaki renk sıcaklıkları Kelvin cinsinden hesaplanması ile insan merkezli aydınlatma açısından bu alandaki durum değerlendirilmiştir.

İstanbul’da Haziran ayında akşam 18 değeri dışında tüm değerler 1’in altında kalmaktadır. Bu da simülasyonun gerçekleştirildiği şartlar ve kullanılan parametreler altında fotopik dalga boyunun melanopik dalga boyuna göre daha baskın olduğu anlamına gelmektedir. Cam kenarına oldukça yakın olan alanda İstanbul koşulunda değerler 0,97 ile 1 arasında değişirken Stuttgart bu değer 0,87 e kadar düşmektedir. Bu değerlendirmeler doğrultusunda odada çalışma alanı üstünde konsantrasyonun artırılması ve aydınlık düzeyinin sağlanması açısından Tablo 5’de teknik özellikleri verilen insan odaklı aydınlatma özelliği olan masa lambası kullanılmıştır.

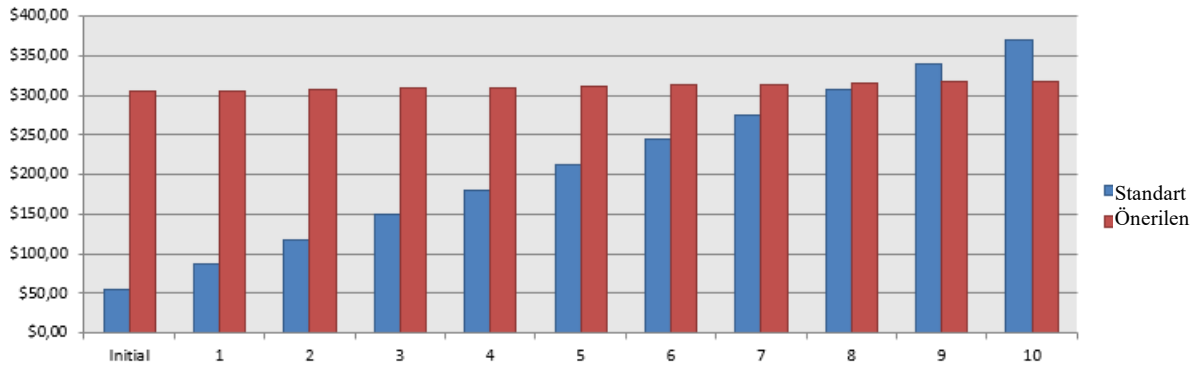
Tablo 4. İstanbul ve Stuttgart 21 Mart, 21 Haziran ve 23 Eylül tarihleri, 21 Aralık tarihleri sabah, öğlen ve akşam saatleri için fotopik – melanopik dalga oranları tablosu

	Ay	Gün	Saat	Gökyüzü	X-1	Y-1	M1	XRadRGB-1	YRadRGB-1	KELVIN-1	EMLRadRGB-1	M/P Oranı-1
İSTANBUL	MART	21	08:00	2	205	204	196	36379,71	36470,66	1811	35647,76	0,98
	MART	21	12:00	2	248	250	245	44425,40	44597,10	1814	44206,27	0,99
	MART	21	18:00	2	210	210	205	37448,77	37532,00	1816	37047,09	0,99
	HAZİRAN	21	08:00	2	181	177	168	31793,35	31768,42	1817	30707,41	0,97
	HAZİRAN	21	12:00	2	231	227	217	40715,25	40706,82	1813	39548,83	0,97
	HAZİRAN	21	18:00	2	245	253	250	44468,20	44872,58	1813	44957,96	1,00
	EYLÜL	21	08:00	2	197	197	191	35092,54	35193,40	1815	34611,51	0,98
	EYLÜL	21	12:00	2	248	250	245	44425,40	44597,10	1818	44206,27	0,99
	EYLÜL	21	18:00	2	248	250	245	44425,40	44597,10	1813	44206,27	0,99
	ARALIK	21	08:00	2	234	229	214	41020,34	41054,28	1812	39364,34	0,96
STUTTGART	ARALIK	21	12:00	2	248	250	245	44425,40	44597,10	1814	44206,27	0,99
	ARALIK	21	18:00	2	172	168	162	30269,19	30192,22	1818	29422,16	0,97
	MART	21	08:00	2	196	193	186	34623,59	34608,16	1810	33788,17	0,98
	MART	21	12:00	2	248	250	245	44425,40	44597,10	1814	44206,27	0,99
	MART	21	18:00	2	231	228	216	40744,23	40815,17	1819	39510,26	0,97
	HAZİRAN	21	08:00	2	208	204	186	36365,85	36497,03	1811	34563,18	0,95
	HAZİRAN	21	12:00	2	248	250	245	44425,40	44597,10	1813	44206,27	0,99
	HAZİRAN	21	18:00	2	248	250	245	44425,40	44597,10	1815	44206,27	0,99
	EYLÜL	21	08:00	2	198	197	190	35155,58	35229,26	1816	34503,34	0,98
	EYLÜL	21	12:00	2	248	250	245	44425,40	44597,10	1813	44206,27	0,99
	EYLÜL	21	18:00	2	220	218	213	39065,00	39058,91	1812	38479,92	0,99
	ARALIK	21	08:00	2	238	231	213	41475,46	41472,38	1815	39397,42	0,95
	ARALIK	21	12:00	2	248	250	245	44425,40	44597,10	1816	44206,27	0,99
	ARALIK	21	18:00	2	160	144	117	26468,30	26222,07	1811	22850,89	0,87

Tablo 5. Secilen aydınlatma armatürü ve lambalarının teknik özellikleri

Ürün	Luctra Lineal	LUCTRA® IŞIK DAĞILIM EĞRİSİ
Ölçüler	Yükseklik: 300 – 700mm/ Capi: 100- 650mm	
Lamba ölçüleri	250 x 250 x 8 mm	
LEDler	2 soguk 2 sicak beyaz isik kaynagi	
Armatür ışık akısı	Dogal beyaz 860 lm	
Işık şiddeti	Dogal beyaz 566 cd	
Aydınlık düzeyi	60 cm yükseklikte 1000lx.	
Işık verimi	73 lm/W	
Renk sıcaklığı (CCT)	2.700 K/3.600/6.500K	
Renk reproduksiyon indeksi	≥ 80	
Işık yoğunluğu ayarı:	1.000 lükse kadar 5 adımda	
Işık renk ayarı:	3 adımda 2.700 / 3.600 / 6.500 K	

Ofis alanlarında aydınlatma düzeyinin 500 lüks altına inmeyecek şekilde yapılan işe göre 750 hatta 1000 lükse çıkması beklenmektedir. Bu doğrultuda buradaki masa alanında istenilen değerlerin sağlanmasında insan merkezli lamba ile 60 W'lık standart bir masa lambası [16] karşılaştırılarak kullanılan bu ekipmanın sağlık yararı dışında ekonomik amortismanı değerlendirilmiştir. Güncel elektrik fiyatları ve dolar üzerinden değerlendirme yapılarak önerilen aydınlatma sisteminin toplam harcama miktarı karşılaştırıldığında Türkiye koşulları için Şekil 4'te görülen sonuç elde edilmiştir. Enerji harcamaları açısından önerilen sistemin kendisini 8 yıl sonunda amorti edebildiği hesaplanmıştır. Onarım giderleri de devreye girdiğinde bu değer 7 yıla düşmektedir. Almanya Koşullarında da daha iyi sonuçlar alınarak değerlerin 5 yıla düştüğü gözlemlenmiştir.

**Şekil 4.** Türkiye koşulları için önerilen aydınlatma ve standart aydınlatmanın kümülatif satın alma ve enerji maliyeti karşılaştırması

4. SONUÇ

Zamanımızın %90'ını iç mekanlarda geçirdiğimiz için insan vücudu için çok önemli olan gün ve güneş ışığını yeterli miktarda tüket(e)miyoruz. Özellikle 2020 yılı başından bu yana yaşadığımız COVID sürecinde, zorunlu olarak iç mekanlarda (yüksek oranda ev ortamında) kalma ve çalışma süremiz artmıştır. İç mekan ışık koşulları, insanların sağlıklı kalmak için ihtiyaç duyduğu uyku-uyanıklık döngüsünü düzenleyen insan sirkadyenini sağlamamaktadır. Güneşli bir açık hava günü 100.000 lüks sağlarken bulutlu bir günde bile hala 10.000 lüks aydınlık düzeyi sağlanabilir. İç mekân ışık seviyeleri bunun yarısı bile değildir. İç ortamlarımızda (ofisler, evler vb.) sahip olduğumuz bu yapay ışık, sirkadiyen senkronizasyon sorunlarına neden olabilmektedir. Bu ve benzeri vücut saati sorunları, hormonal sistem bozukluğu, ruh hali ve üretkenliğin bozulması gibi yıkıcı sağlık sonuçlarına da yol

açabilmektedir. Güneş spektrumuna maruz kalmamak, fizyolojimiz için temel olan ve davranışlarımızın çoğunu kontrol eden insan sirkadyen sistemini rahatsız etmektedir. İnsan Odaklı Aydınlatma, aydınlatmanın insanlar için görsel, duygusal ve biyolojik faydalarını dengeleyerek insan performansını, konforunu, sağlığını ve refahını artırmaktadır. Ayrıca daha iyi bir ışık ortamı sağlayarak öğrenme sırasında uyanıklığı ve konsantrasyonu artırmaktadır. Enerji açısından da verimli ve uygun maliyetli İnsan Odaklı Aydınlatma çözümleri son iki yıl içinde bulunduğumuz COVID sürecinde de evden yapılan ofis ve okul uygulamalarında iyi performans ve enerji sonuçları vermiştir. İnsanların refahını ve performansını maksimum oranda sağlamak için İnsan Odaklı Aydınlatma bu çalışmada ev ofisi uygulaması için seçilmiş ve karşılaştırmalı simülasyonları sunulmuştur. Masa aydınlatması açısından oldukça yeni ve pahalı bir sistem olmasına rağmen sistemin kendini 7 yılda amorti etmesi ile kullanımının kısa sürede yaygınlaşacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

1. EU JRC-COVID & Empl Working Group, Telework in the EU before and after the COVID-19: where we were, where we head to, https://ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/jrc120945_policy_brief_covid_and_telework_final.pdf, 2020, 05.08.2021.
2. European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions(Eurofond),” <https://www.eurofound.europa.eu/publications/report/2020/living-working-and-covid-19>, 2020, 05.08.2021.
3. Klepeis N. E., Nelson W. C., Ott W. R., Robinson J. P., Tsang A. M., Switzer P., Behar J. V., Hern S. C., Engelmann W. H., The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants, Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology, 231–252, 2001.
4. Van Bommel W., Van den Beld G., Lighting for work: a review of visual and biological effects, Lighting Research & Technology, 36(4), 255-266, 2004.
5. Veitch J., Light, lighting, and health: issues for consideration, Light & Engineering, 4, 6-13, 2005.
6. Deng M., Wang X., Menassa C. C., Measurement and prediction of work engagement under different indoor lighting conditions using physiological sensing, Building and Environment, 203, 2021.
7. Chen X., Zhang X. and Du J., Exploring the effects of daylight and glazing types on self-reported satisfactions and performances: a pilot investigation in an office, Architectural Science Review, 4(64), 352-388, 2019.
8. Figueiro M., Kalsher M., Steverson B., Heerwagen J., Kampschroer K., Rea M., Circadian-effective light and its impact on alertness in office workers, Lighting Research Technology, 51, 171-183, 2019.
9. Brainard G., Hanifin J., Exploring the power of light: from photons to human health, Lighting Engineering, 22, 4-14, 2014.
10. Amundadottir M., Lockley S. and Andersen M., Unified framework to evaluate non-visual spectral effectiveness of light for human health, Lighting Research & Technology, vol. 6, 49, 673-696, 2017.
11. LightingEurope & ZVEI, Quantified Benefits of Human Centric Lighting, 2015.
12. Grasshopper3d, <https://www.grasshopper3d.com/>, 05.08.2021.
13. Honeybee, <https://www.ladybug.tools/honeybee.html>, 05.08.2021.
14. LUCTRA, Table Lamps, <https://www.luctra.eu/en/products/table-lamps>, 05.08.2021.
15. Jung B., Inanici M., Measuring circadian lighting through high dynamic range photography., Lighting Research & Technology, 51(5), 742-763, 2019.
16. Zanui, Ora Desk Lamp with Detachable Base & Clamp, <https://www.zanui.com.au/Ora-Desk-Lamp-with-Detachable-Base-Clamp-177198.html>, 05.08.2021.

İNSAN ODAKLI AYDINLATMADA YENİ TASARIM KRİTERLERİ

Sevda Aliparast¹, Sermin Onaygil²,

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, aliparast17@itu.edu.tr

² İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, onaygil@itu.edu.tr

Dijital dönüşümün yaşandığı günümüzde “İnsan Odaklı Aydınlatma (HCL)” üzerinde en çok çalışılan araştırmalar arasındadır. Işığın insan üzerindeki görsel, biyolojik ve duygusal etkilerini araştıran bu çalışmaların önemi içinde bulunduğumuz pandemi döneminde bir kat daha artmıştır. Bildiride günışığı erişimi olmayan bir ofis çalışma ortamında dört farklı ışık dağılımına sahip armatürler kullanılarak, belli kullanıcı konumlarında saat 08:00 – 17:00 arasında önerilen en az 250 Eşdeğer Melanopik Lüks (EML) ve 0,4-0,3 değerinde Sirkadiyen Uyarıcı (CS) değerlerini sağlayan aydınlatma tasarımları gerçekleştirilmiştir. Tasarımlardaki yatay (E_H) ve düşey aydınlık düzeyleri (E_V), EML, CS ve yıllık enerji tüketim değerleri analiz edilmiştir. Düşey düzlemde uygun ışık dağılımlı armatürler kullanılarak gerçekleştirilen EML ve CS değerlerinin sağlandığı aydınlatma tasarımları ile, çalışma konfor ve veriminin artırılmasının yanı sıra enerji verimli çözümler de elde edilebileceği gösterilmiştir. Bu çalışmadaki analizlerden, çalışma düzlemi üzerine yerleştirilen sarkıt ofis aydınlatması armatürleri ile gerekli EML ve CS değerlerine daha az sayıda armatür, dolayısıyla daha düşük elektrik enerji tüketimi ile ulaşılabildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: İnsan Odaklı Aydınlatma, Eşdeğer Melanopik Lüks, Sirkadiyen Uyarıcı, Aydınlatma Tasarımı, Enerji Verimliliği

New Parameters in Human Centeric Lighting

"Human Centric Lighting (HCL)" is among the most studied topics. The importance of these studies, which investigate the visual, biological and emotional effects of light on humans, has increased more during the current pandemic period. In the paper, lighting designs that provide the recommended Equivalent Melanopic Lux (EML) minimum 250 and Circadian Stimulus (CS) 0.4-0.3 values in office hours between 08:00 and 17:00 in certain user locations were carried out by using luminaires with four different light distributions in an office without daylight access. Horizontal and vertical illuminance levels and annual energy consumption values in the designs were analyzed. It has been shown that energy efficient solutions can be obtained, as well as increasing comfort and efficiency of work, with lighting designs, by using luminaires with appropriate light distribution in the vertical plane cause to access expected EML and CS values. From the analyzes in this study, it has been seen that the required EML and CS values can be achieved with fewer luminaires and therefore lower electrical energy consumption with pendant office lighting fixtures placed on the working place.

Keywords: Human Centric Lighting, Equivalent Melanopic Lux, Circadian Stimulus, Lighting Design, Energy Efficiency.

1. GİRİŞ

Aydınlatmada LED’lerin kullanılmaya başlaması ile, ışık ve insan biyolojik sistemi arasındaki ilişkiyi araştıran çalışmaların sayısı da artmıştır. Işık, insanın sirkadiyen ritmini yani, davranışsal ve hormonal sistemlerini düzenlemek için güçlü bir uyarıcıdır. Işık tedavisi ile uyku düzensizlikleri, sirkadiyen ritim bozuklukları gibi sorunlar tedavi edilebilmekte, çalışma konfor ve verimi arttırılabilmektedir. Gözdeki melanopsin içeren, ışığa duyarlı retina ganglion hücreleri (ipRGC'ler) farklı ışık seviye ve renklerinden farklı etkilenecek kişi üzerinde farklı biyolojik ve davranışsal etkiler yaratmaktadır. Tüm olumlu etkileri dikkate alınarak

araştırmacılar, mimari aydınlatma tasarımcıları, mühendisler ve aydınlatma üreticileri tarafından kullanılması önerilen, görsel olmayan tepkilere yönelik insan odaklı aydınlatmanın değerlendirilmesi ve doğru uygulanması için şu an bilinen ışık ölçüm tekniklerinden farklı yöntemlere ihtiyaç vardır. Ortamlarda yaratılan yapay aydınlatmaların doğal gün ışığının biyolojik etkilerini ne ölçüde arttırdığı somut olarak belirlenmelidir. Diğer yandan, doğru insan odaklı aydınlatma sistemlerinin okul ve ofislerde çalışma verimini yükselttiği, endüstride gece vardiyalarında uyanıklığı artırarak iş güvenliğini sağladığı, ayrıca tedavi amaçlı da kullanılabildiği bilinmektedir [1]. Bu bildiride, insan odaklı aydınlatmanın değerlendirilmesi için önerilen yeni tasarım kriterlerinin açıklanmasının yanısıra, çalışma performansı yükseltilerek verimlilik artırılırken, enerji tasarrufu da sağlanabileceği tezinin irdelenmesi amaçlanmıştır.

2. IPRGC'DEN ETKİLENEN IŞIĞA KARŞI YANITLAR İÇİN ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Biyolojik fotoreseptörler, ışığın tüm dalga boylarına eşit derecede duyarlı değildir. Mevcut fotometri teknikleri, bu temel sorunu dikkate alarak ışığı ölçme yöntemlerini tanımlamaktadır. İnsan gözündeki bilinen alıcılar olan koniler ve çomaklar, mevcut CIE yayınları tarafından karakterize edilmiştir. Son 25 yıldır gerçekleştirilen araştırmalar ise, gözde ışığın görsel olmayan etkilerinde önemli bir rol oynayan ve görünür spektrumun daha kısa dalga boylu bölümünde duyarlılığı yüksek olan ipRGC olarak adlandırılan farklı bir fotoreseptör daha olduğunu ortaya koymuştur [2]. Işığın insanlar üzerindeki görsel olmayan etkisini ölçmek için hazırlanmış en güncel çalışma Uluslararası Aydınlatma Komisyonu'nun CIE 2018 S26 nolu yayınıdır [3].

2.1 CIE S 026/E:2018

Bu yayında, ışığın görsel olmayan etkileri ışığa maruz kalmanın süresine bağlı olarak incelenmektedir. Kişilerin sirkadiyen evreleri ve ışığa maruz kalma geçmişleri gibi kişiye özel parametreler de dikkate alınmaktadır. Kişisel parametreler ile fizyolojik tepkiler arasındaki bağlantının bulunması ve bu sonuçların genel uygulamalarda kullanılması amaçlanmaktadır. Yayında ayrıca, ışığa karşı ipRGC'den etkilenen yanıtlar için retina fotoreseptör simülasyonu nitelendirilirken, yaş ve görüş alanının etkileriyle ilgili bilgiler de yer almaktadır [4]. İnsan gözünde var olan opsin bazlı fotopigmentler α sembolü ile gösterilmekte ve α 'nın aşağıda belirtilen beş farklı fotoreseptör tepkisinden biri olduğu açıklanmaktadır.

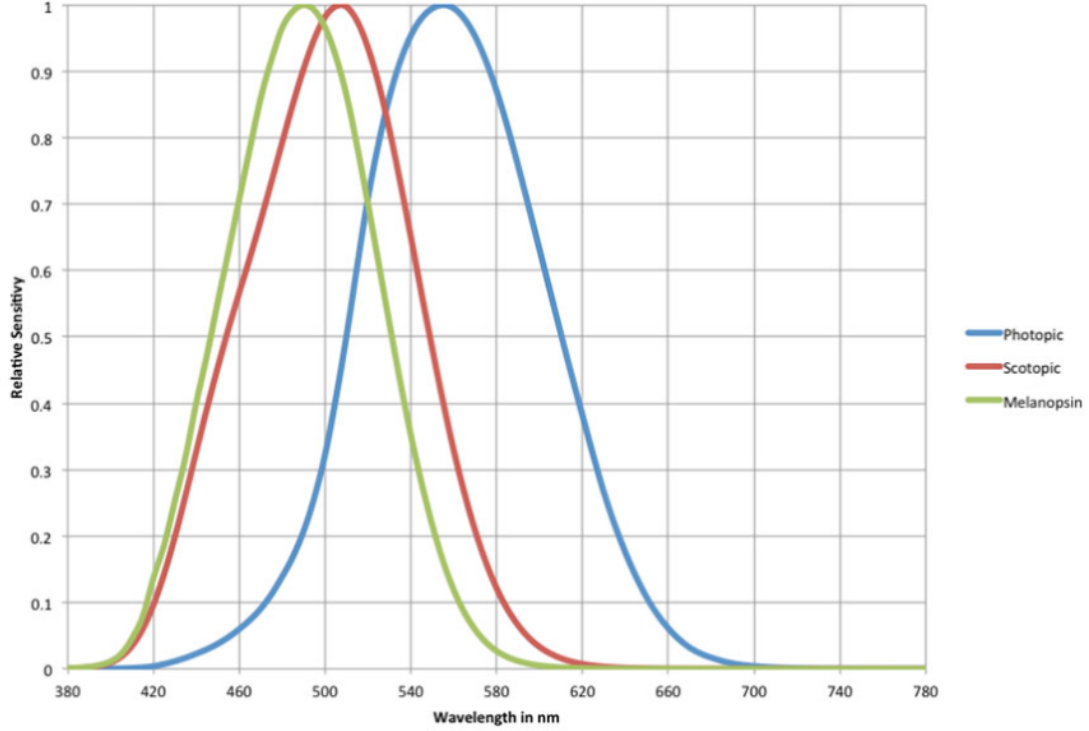
S-koni-opik fotopigmentinden dolayı S-konisi tepkisi ile ilgili
M-koni-opik fotopigmentinden dolayı M-konisi tepkisi ile ilgili
L-koni-opik fotopigmentinden dolayı L-konisi tepkisi ile ilgili
Rodop fotopigmentinden dolayı çomakların tepkisi ile ilgili
Melanopik fotopigmenti nedeniyle ipRGC tepkisi ile ilgili

CIE S 026/E:2018'de, insan gözünün bilinen beş fotoreseptörü için, ipRGC'den etkilenen ışığa yanıtlarını dikkate alan standart eylem spektrumları tanımlanmaktadır. Ancak, ışığın insanlar üzerindeki görsel olmayan etkilerini hesaplamak için CIE S 026/E:2018 baz alınarak, daha pratik uygulama yöntemlerinin oluşturulmasına ihtiyaç vardır.

Işığın kullanıcılar üzerindeki görsel olmayan etkisini belirleme amaçlı olarak, fotoreseptör spektral tepkisinin melanopik efektif watt (W) olarak ölçülmesi önerilmektedir. Denklem 1 ile hesaplanan melanopik görmenin spektral duyarlılık eğrisi de fotopik ve skotopik görme ile birlikte Şekil 1'de gösterilmektedir.

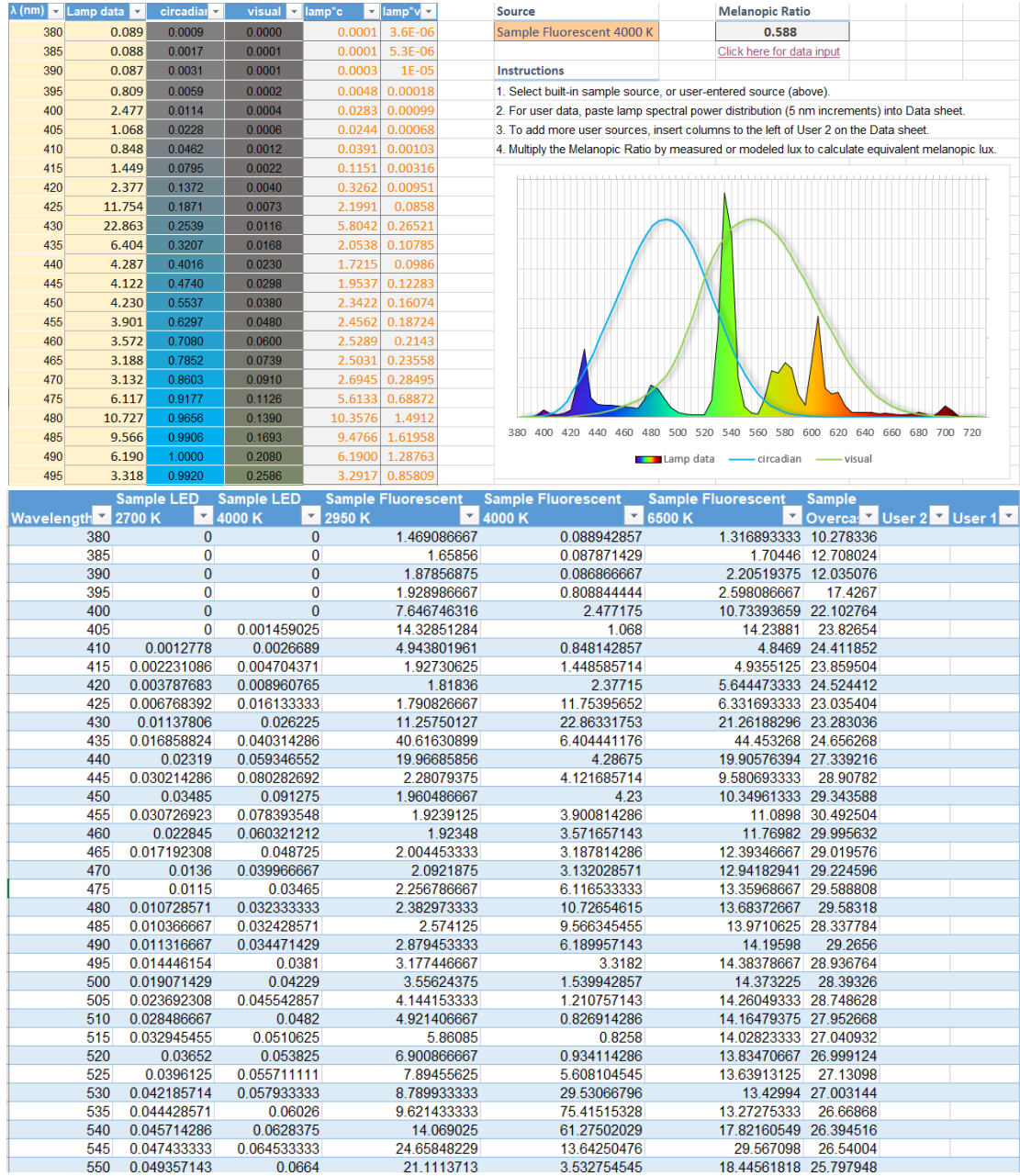
$$M(S) = \int S(\lambda)M(\lambda)d\lambda \quad (1)$$

Burada, $S(\lambda)$ kaynağın Spektral Güç Yoğunluğu (SPD), $M(\lambda)$ melanopsin duyarlılık fonksiyonudur.



Şekil 1. Melanopsin için spektral duyarlılık eğrisi (yeşil çizgi), karşılaştırma için gösterilen skotopik ve fotopik duyarlılık eğrileri [1, 5].

EML metriği, melanopsinin bağıl spektral duyarlılığından türetilen fotometrik bir değerdir. Konilerin spektral duyarlılıklarının esas alındığı alışlagelmiş aydınlık düzeyi ölçüm büyüklüğünün (lux) ipRGC'lere göre önerilen alternatif metriğidir. EML, göz seviyesindeki düşey düzlemde değerlendirilmektedir. Bu amaçla, International Well Building Institute [6] tarafından ışığın görsel olmayan etkilerinin ölçümlerini basitleştirmek için “melanopik oran hesaplayıcısı” önerilmiştir. Şekil 2’de Melanopik Oran Hesaplayıcı’sından elde edilen bir çıktı örnek olarak gösterilmektedir.



Şekil 2. Melanopic Oran Hesaplayıcı [6]

Bu hesaplayıcının kullanılabilmesi ve melanopik oran değerlerinin elde edilebilmesi için aydınlatma armatürü SPD değerlerinin veri olarak girilmesi gerekmektedir. Elde edilen melanopik oranları kullanıcının göz korneasındaki düşey aydınlık düzeyi (lux) değeri ile çarpılarak Eşdeğer Melanopik Lüks (EML) değeri bulunmaktadır. WELL standartında iç aydınlatma tasarımlarında sağlanması gereken EML değerleri de önerilmektedir [6].

2.2 CS Modeli

Bu modelde, korneadaki spektral ışıma gece melatonin baskılanmasına dayalı olarak, biyolojik saatin tepkisini uyaran retina fototransduksiyon mekanizmalarının spektral duyarlılığı ile ağırlıklandırılmış ışıma olan sirkadiyen ışığa (CL_A) dönüştürülmektedir. Elde edilen CL_A daha sonra sirkadiyen sistemin mutlak hassasiyetini yansıtan CS'ye dönüştürülmektedir. CS, sirkadiyen sistemi için retina ışık uyarımının başlangıcı ($CS=0,1$) ve doygunluğuna ($CS=0,7$) kadar olan etkinliğinin bir ölçüsüdür [7,8]. CS Denklem (2)'de verilen fonksiyon ile hesaplanmaktadır [4].

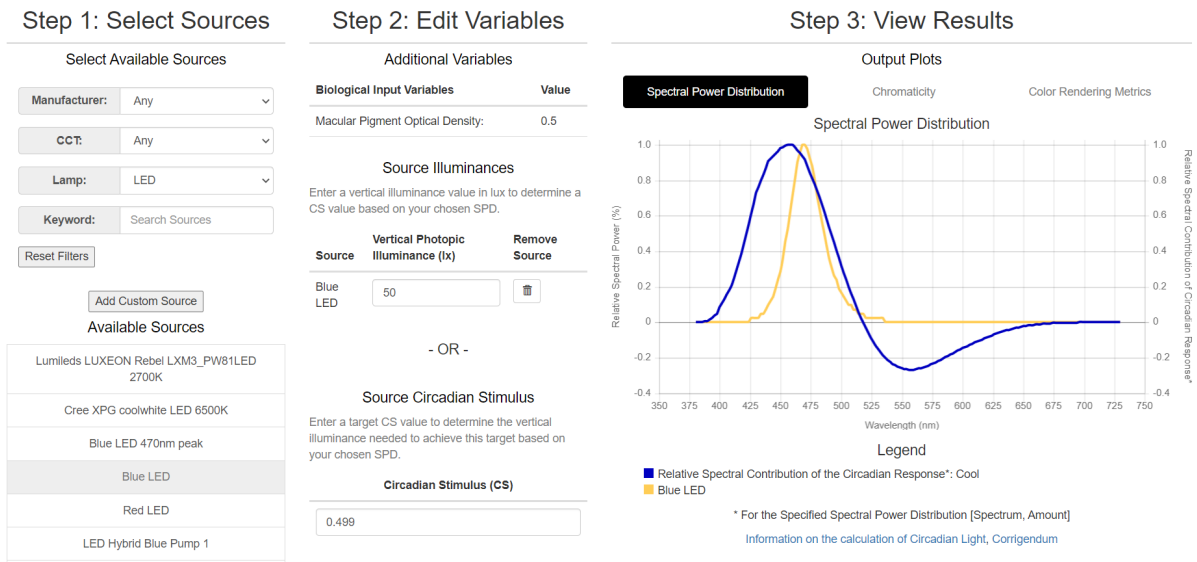
$$CS = 0.7 - \frac{0.7}{1 + \left(\frac{CL_A}{355.7}\right)^{1.1026}} \quad (2)$$

Burada CL_A , sirkadiyen ışığıdır

Model, laboratuvarında [9,10,11] ve saha çalışmalarında sirkadiyen sistemi aktive etmek amacıyla çeşitli ışık kaynak spektrumlarının etkinliğini tahmin etmek için başarıyla kullanılmıştır.

Bir binada gün ışığının bulunması kullanıcılar için yüksek CS'e erişildiğinin garantisi olamaz. İnsan odaklı doğru aydınlatma için uygun tasarım ve tesisatlara ihtiyaç vardır. Bu tasarımlarda mobilya yerleşimleri, pencere ve gölgelik konumları, kullanıcıların oturma düzenekleri ile görsel ve ısı konfor koşulları dikkate alınmalıdır [4].

İngiltere'deki Aydınlatma Araştırma Merkezi tarafından önerilen CS hesaplayıcısı için örnek bir çıktı da Şekil 3'te gösterilmektedir [12]. Bu hesaplama yönteminde, tasarımda kullanılacak aydınlatma armatür verilerinin sisteme dahil edilmesi ve söz konusu aydınlatma armatürü ile ortamda sağlanacak düşey aydınlık düzeyinin de veri olarak işlenmesi gerekmektedir.



Şekil 3. CS Oran Hesaplayıcı [12]

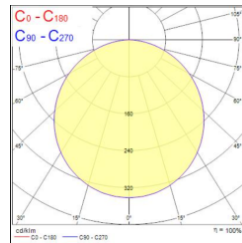
3. ÖRNEK ÇALIŞMA OFİSİNDE İNSAN ODAKLI AYDINLATMA TASARIMI

Çalışmada, EN 12464 standardında ofisler için önerilen yatay aydınlık düzeylerinin (E_H) yanı sıra armatür tipi ve aydınlatma tasarımının düşey aydınlık düzeyini (E_V), dolayısıyla insan odaklı aydınlatma kriterlerini nasıl etkilediğini irdelemek için örnek bir ofiste simülasyonlar gerçekleştirmiştir. Simülasyonlarda 0,8 m yükseklikteki çalışma düzleminde 300 lx ila 500 lx arasında yatay aydınlık düzeyinin sağlanması esas alınarak, kullanıcının görme doğrultusunda yerden 1,2 metre yükseklikteki düşey aydınlık düzeyi hesaplanmıştır. Çalışmada, gömme downlight (Armatür A), gömme modüler (Armatür B), sarkıt direkt ve endirekt lineer (Armatür C) ve gömme lineer (Armatür D) olmak üzere dört armatür tipi için değerlendirmeler yapılmıştır. Gün ışığına erişimi olmayan ofiste yüzeylerin yansıtma çarpanları tavan %70, duvarlar %50, zemin %50 olarak kabul edilmiştir. Değerlendirmelerde armatür tip ve konumu ile ışık dağılım eğrilerinin düşey aydınlık düzeyi değerinde etkili olduğu, uygun EML ve CS değerlerine doğru armatür tip ve konumu ile ulaşılabilirdiği görülmüştür. Açık ofis alanlarında

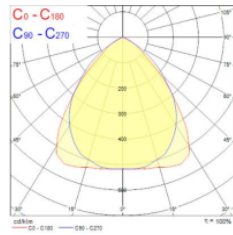
genelde tercih edilen 4000K renk sıcaklığı kullanılarak, örnek ofiste, aydınlatma tasarım sonuçlarının, 08:00 – 17:00 saatleri arasında EML değerinin 250'den yüksek ve CS değerinin ise yaklaşık 0,3 ila 0,4 olması hedeflenmiştir. Simülasyonlar için seçilen armatürlerin özellikleri Tablo 1'de listelenmiş ve her bir armatürün ışık şiddeti dağılımları ve görüntüleri Şekil 4'de verilmiştir.

Tablo 1. Simülasyonlarda kullanılan armatürlerin özellikleri

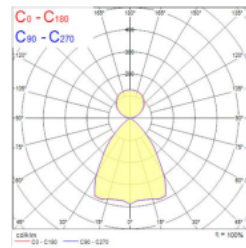
Armatür	Açıklama	Işık akısı (lm)	Gücü (W)	Boyutu	Montaj tipi
A	LED downlight	2025	21	Çap 220mm	Tavana Gömme
B	LED Modüler	4500	40	600mmx600mm	Tavana Gömme
C	LED Direkt/endirekt lineer sarkıt	4500	31	1200mmx90mm	Tavandan Sarkıt
D	LED lineer	3270	31	1200mmx90mm	Tavana Gömme



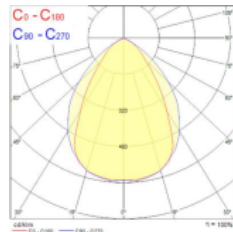
Armatür A



Armatür B



Armatür C



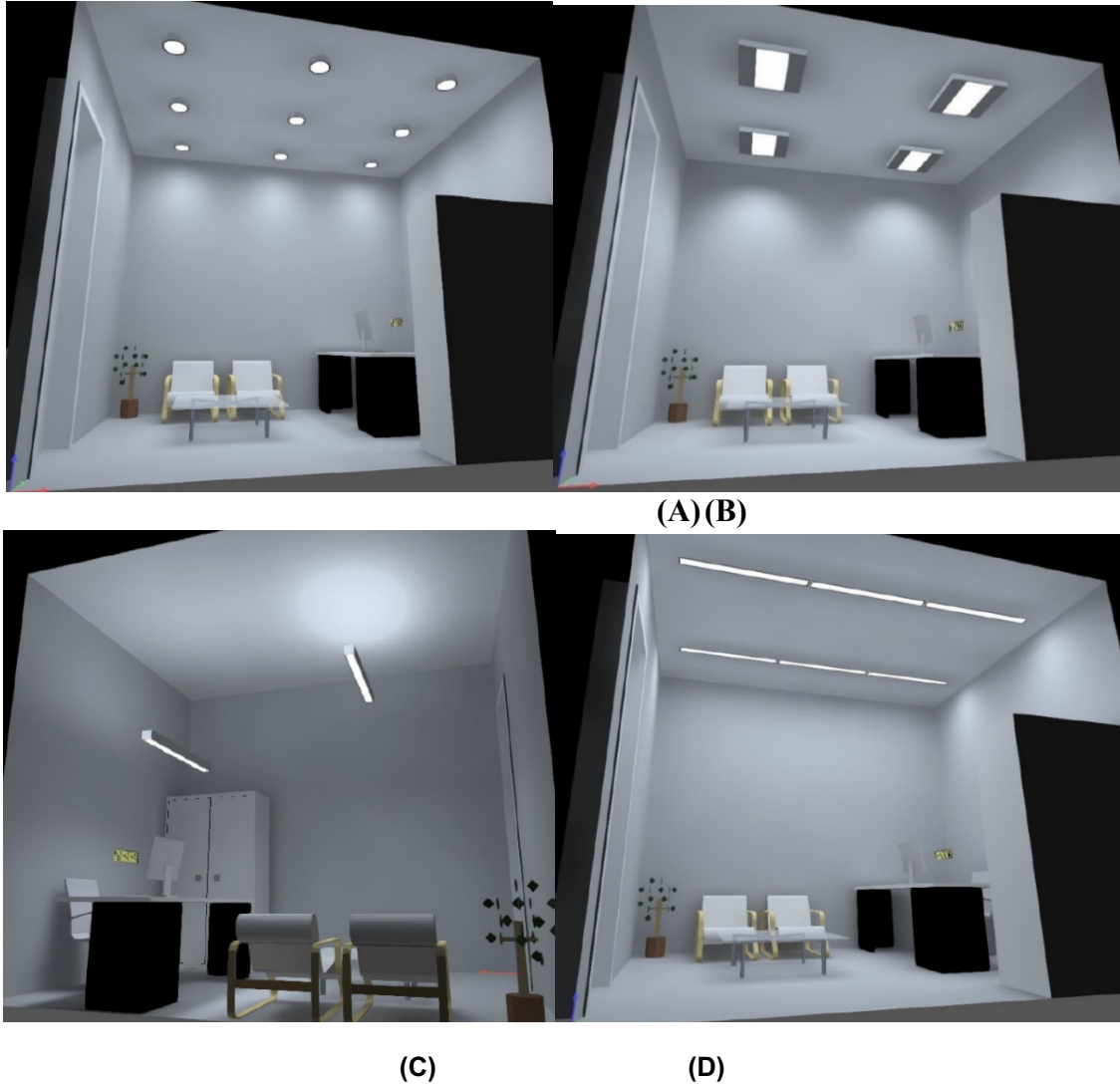
Armatür D

Şekil 4. Armatür görselleri ve ışık dağılım eğrileri [13].

4. SİMÜLASYON

Bu çalışma, insan odaklı aydınlatma kapsamında kullanıcı verimliliğini artırmak için önerilen EML ve CS değerlerinin sağlandığı 3mx4m boyutlarındaki bir çalışma ofisinde, uygun aydınlatma düzenekleri ile enerji tasarruf olanaklarını da irdelemek amacıyla kurgulanmıştır. Ofislerde kullanıma uygun gömme ve sarkıt olmak üzere iki farklı montaj özellikli ve dört farklı ışık dağılımlı armatür tipleri seçilip, DIALux Evo bilgisayar programı yardımıyla uygun tefrişle ofis ortamları yaratılarak aydınlatma tasarım simülasyonları gerçekleştirilmiştir.

EN12464 nolu standartta, yapılan işle bağlantılı olarak ofisler için yerden 0,8 m yükseklikteki çalışma düzleminde 300 lx -500 lx yatay aydınlık düzeylerinin (E_H) sağlanması önerilmektedir. İnsan odaklı aydınlatma tasarım kriterleri olarak gösterilen EML ve CS değerlerinde ise kullanıcı gözlem doğrultusunda yerden 1,2 metre yükseklikteki düşey aydınlık düzeyi (E_v) esas alınmaktadır. Çalışmada insan odaklı aydınlatma tasarımı amaçlandığı için, simülasyonlarda çalışma saatleri olarak kabul edilen 08:00 – 17:00 arasında EML değerinin 250’den yüksek olması; CS oranının ise 0,4 olması hedeflenmiştir. Ancak saat 13:00 – 17:00 arasında 0,3 değerinde CS oranı da kabul edilebilmektedir. EML ve CS kriterleri belirtilen değerlerden yüksek olacak şekilde dört farklı armatür ile gerçekleştirilen aydınlatma simülasyonlarındaki armatür sayı ve yerleşim konumları Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5. (A), (B), (C), (D) tipi armatürlerle gerçekleştirilen simülasyonlardaki armatür sayı ve konumları.

En yüksek CS ve EML seviyeleri hedeflenerek dört farklı armatür kullanılarak gerçekleştirilen simülasyonlar ile elde sonuçlar Tablo 2'de listelenmiştir. Yıllık elektrik tüketim 262 iş günü ve günlük 8 saat mesai süresi kabulü ile hesaplanmıştır. İlk seçenek olan Armatür (A)'lı çözümde, dokuz adet gömme downlight kullanılarak E_H : 714 lx, E_V : 387 lx, CS: 0,306 ve EML: 294,12 değerleri sağlanmış, yıllık toplam enerji tüketimi de 377,28 kWh olarak hesaplanmıştır. 4 adet gömme modüler tipli Armatür (B) ile aynı ofiste E_H : 783 lx, E_V : 494 lx, CS: 0,335, EML: 375,44 değerleri elde edilmiş, yıllık toplam enerji tüketimi 335,36 kWh olarak bulunmuştur. İki adet direkt endirekt sarkıt tipli Armatür (C) kullanılarak ofiste E_H : 464 lx, E_V : 631 lx, CS: 0,404, EML: 479,56 değerleri sağlanmış ve yıllık toplam enerji tüketimi 129,95 kWh olarak hesaplanmıştır. Son seçenek gömme lineer direkt tipli Armatür (D) düzeneğinde ise E_H : 739 lx, E_V : 442, CS: 0,333, EML: 335,92 değerleri elde edilmiş, yıllık toplam enerji tüketimi de 389,85 kWh olmuştur.

Armatür sayısı veya ışık akıları artırılarak daha yüksek CS ve EML değerleri elde edilebilir. Ancak enerji tasarrufu da dikkate alınarak optimum çözümlere ulaşılması hedef olmalıdır. Bu yaklaşımla sonuçlar incelendiğinde, 500 lx'ün biraz altında 464 lux yatay aydınlık düzeyi sağlanan Armatür (C)'li simülasyonda en yüksek CS ve EML değerlerinin elde edilebildiği görülmektedir. Diğer üç çözümde sağlanması gereken CS ve EML değerlerine ulaşılabilmesi için yatay aydınlık düzeylerinin 700 lx'ün üzerine çıkarılması gerekmiştir.

Tablo 2. Simülasyon sonuçları

Armatür	Zaman dilimi	Sağlanacak CS	Sağlanacak EML	EN12464'e göre Sağlanacak Yatay Aydınlık Düzeyi	Melanopik Oran	E_H	E_V	Armatür Sayısı	CS	EML	Armatür Gücü (W)	Toplam Sistem Gücü (W)	Yıllık Elektrik Tüketimi (KWh)
A	07:00 – 13:00	0,4	>250	300-500 lux	0,76	714	387	9	0,306	294,12	20	180	377,28
	13:00 – 17:00	0,3	>250										
	17:00 – 20:00	0,2											
	20:00 – 24:00	0,1	50>										
B	07:00 – 13:00	0,4	>250	300-500 lux	0,76	783	494	4	0,355	375,44	40	160	335,36
	13:00 – 17:00	0,3	>250										
	17:00 – 20:00	0,2											
	20:00 – 24:00	0,1	50>										
C	07:00 – 13:00	0,4	>250	300-500 lux	0,76	464	631	2	0,404	479,56	31	62	129,952
	13:00 – 17:00	0,3	>250										
	17:00 – 20:00	0,2											
	20:00 – 24:00	0,1	50>										
D	07:00 – 13:00	0,4	>250	300-500 lux	0,76	739	442	6	0,333	335,92	31	186	389,856
	13:00 – 17:00	0,3	>250										
	17:00 – 20:00	0,2											
	20:00 – 24:00	0,1	50>										

5. SONUÇ

Simülasyon sonuçlarından düşey aydınlık düzeyinin yatay aydınlık düzeyine oranı (E_V/E_H) yükseldikçe daha iyi sirkadiyen uyarı (CS) ve EML değerlerine ulaşıldığı görülmektedir. İnsan odaklı aydınlatmada ortam tefriş planı, yüzey renk ve yansıtma özellikleri, armatür tipleri, ortam kullanım koşulları, çalışma konum ve yönleri gibi etkenler birlikte dikkate alınarak göz seviyesindeki düşey aydınlık düzeyi esas alınarak tasarımların yapılması önerilebilir. Bu bildiri

özelinde dört farklı aydınlatma armatür tipi ile diğer koşullar sabit kalarak gerçekleştirilen simülasyonlarda sarkıt direkt-endirekt tipli Armatür (C) ile en yüksek CS ve EML değerleri elde edilmiştir. Armatür sayısı ve elektrik enerjisi tüketim değerinin de düşük olduğu bu tasarım ile optimum çözümler elde edilebilir. Kesin önerilerin yapılabilmesi için, armatür tipinin yanısıra diğer tüm etkenlerin dikkate alındığı, otomasyon sistemlerinin de dahil edildiği kapsamlı araştırma çalışmalarına ihtiyaç vardır.

KAYNAKÇA

1. Evans J. A., Davidson AJ. Health consequences of circadian disruption in humans and animal models, *Progress in Molecular Biology and Translational Science*, 119: 283-323, 2013.
2. Robert J. Lucas, Stuart N. Peirson², David M. Berson, Timothy M. Brown, Howard M. Cooper Charles A. Czeisler, Mariana G. Figueiro, Paul D. Gamlin, Steven W. Lockley, John B. O'Hagan, Luke L.A. Price, Ignacio Provencio, Debra J. Skene, and George C. Brainard, Measuring and using light in the melanopsin age, *Trends in Neurosciences*, , Vol. 37, No. 1, <http://dx.doi.org/10.1016/j.tins.2013.10.004>, January 2014
3. CIE System for Metrology of Optical Radiation for ipRGC-Influenced Responses to Light, CIE S 026/E:2018, CIE Central Bureau, Vienna, 2018.
4. M G. Figueiro, B Steverson, J Heerwagen, K Kampschroer, C M. Hunter, K Gonzales, B Plitnick, M S. Rea, The impact of daytime light exposures on sleep and mood in office workers, *Journal of the National Sleep Foundation, Sleep Health* 3, 204–215, 2017
5. Berman S, Clear R, Simplifying Melanopsin Metrology, IES Illuminating engineering society, 31 July 2019
6. Well building institute, human centric lighting, <https://standard.wellcertified.com/light/circadian-lighting-design#>
7. Hattar S, Lucas RJ, Mrosovsky N, et al. Melanopsin and rod-cone photoreceptive systems account for all major accessory visual functions in mice. *Nature*. 424:75–81, 2003.
8. Bierman A, Klein TR, Rea MS. The Daysimeter: a device for measuring optical radiation as a stimulus for the human circadian system. *Meas Sci Technol*, 16: 2292–2299, 2005.
9. Rea MS, Figueiro MG. A working threshold for acute nocturnal melatonin suppression from “white” light sources used in architectural applications. *J Carcinog Mutagen.*;4(3):1000150, 2013.
10. Figueiro MG, Bullough JD, Rea MS. Spectral sensitivity of the circadian system. Paper presented at: Proceedings of the International Society for Optical Engineering (SPIE); [San Diego], 2003.
11. Figueiro MG, Lesniak NZ, Rea MS. Implications of controlled short-wavelength light exposure for sleep in older adults. *BMC Res Notes.*, 8(4):334, 2011.
12. Lighting research center, <https://www.lrc.rpi.edu/cscalculator/>
13. Sylvania lighting, <https://www.sylvania-lighting.com/en-int/>

VARDİYALI ÇALIŞANLARDA IŞIĞIN UYANIKLIK VE SİRKADİYEN UYUM ÜZERİNDE ETKİSİNİN BİR ALAN ÇALIŞMASI İLE İNCELENMESİ

Levent Sahin PhD¹

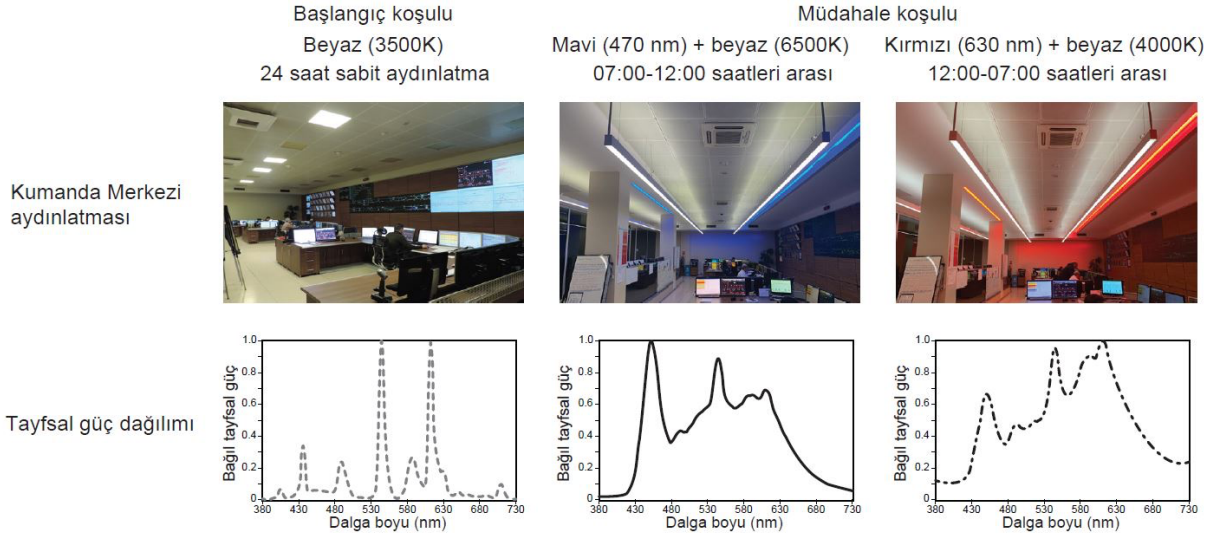
¹ Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, leventsah@gmail.com

Vardiyalı çalışma, çalışanlarda uyku bozukluğu, mesleki yaralanma, iş kazaları ve sağlık problemleriyle ilişkilendirilir[1]–[6]. Hatta, 2007 yılında, Kanser Araştırmaları Uluslararası Komisyonu (IARC) sirkadyen bozukluğa neden olan vardiyalı çalışma sistemlerini ‘*insanlar için muhtemelen kansorejen*’ olarak tanımladılar [7]. Çalışanların maruz kaldığı düzensiz 24-saatlik aydınlık-karanlık döngüsü, vardiyalı çalışmanın bu olumsuz etkilerinin oluşmasında önemli bir rol oynar.

Retinaya düşen ışık sadece görsel bir bilgi sağlayıcı olmakla kalmaz, aynı zamanda bir güne ait biyolojik fonksiyonların bütününi organize eden sirkadiyen (biyolojik) saatin 24 saatten biraz farklı (ortalama 24.2 saat) olan içsel periodunu sıfırlar ve 24 saatlik periyoda eşitler[8]. Işığın sirkadiyen sistem üzerindeki bu faz değiştirici etkisinin yanısıra, anlık uyarıcı etkisi de gösterilmiştir[9]. Işığın uyarıcı etkisi, yakın geçmişte, sadece gece ve karanlıkta salgılanan melatonin hormonunun baskılanmasıyla ilişkilendirilmiştir. Bunun önemli bir nedeni, biyolojik saate mesaj gönderen fotoreseptörlerin (ipRGCs) kısa dalga boyundaki (mavi) ışığa daha duyarlı olmasıdır[10], [11]. Oysa ki yeni yapılan çalışmalar, uzun dalga boyundaki (kırmızı) ışığın gece ve gündüz nesnel uyanıklık ve öznel uykululuk seviyelerini artırdığını gösterir [12]–[16].

Sözkonusu araştırma projesi, yukarıda bahsi geçen laboratuvar araştırmalarının bulgularını, uygulamalı deneysel bir alan çalışmasında operasyonel bağlam içinde ilk kez test etti. Projenin amacı, ışığın insan fizyolojisi üzerindeki anlık ve uzun süreli etkilerinin farmakolojik olmayan bir araç olarak kullanımıyla, vardiyalı çalışanların sirkadyen uyumlarını güçlendirmek, loş ışık melatonin başlangıç zamanlarını öne almak, nesnel ve öznel uyku kalitelerini yükseltmek ve öznel uykululuk durumlarını iyileştirmektir.

İki aşamada yürütülen projenin ilk aşamasında (başlangıç koşulu), var olan aydınlatma sisteminin çalışanlar üzerindeki etkileri, loş ışık melatonin başlangıç zamanı, Pittsburg Uyku Kalitesi Endeksi, Karolinska Uykululuk Ölçeği ve aktivite/dinlenme döngülerini kullanılarak incelendi. Projenin ikinci aşamasında (müdahale koşulu) 24-saatlik dinamik sirkadyen aydınlatma projesi geliştirildi ve kumanda merkezi ofisine uygulaması yapıldı. Yeni dinamik aydınlatma sistemi altında çalışanlar, 07:00 ile 12:00 saatleri arasında mavi (470 nm) ve beyaz (6500 K) ışığın kullanıldığı yüksek sirkadyen uyarıya (circadian stimulus[17] CS>0.3), 12:00 ile 07:00 saatleri arasında kırmızı (630 nm) ve beyaz (4000 K) ışığın kullanıldığı, sirkadyen etkisi düşük (CS<0.1) ancak anlık uyanıklığı artırma etkisi yüksek uyarıya maruz bırakıldı (Şekil 1).

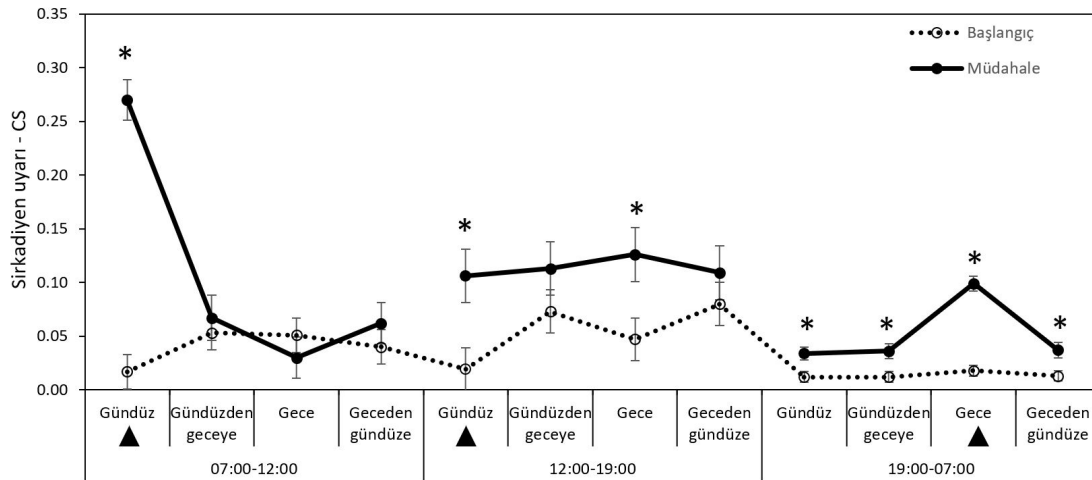


Şekil 1. Kumanda merkezi başlangıç ve müdahale durumları (üst sıra) ve ilgili tayfsal güç dağılımları

Çalışmanın başlangıç koşuluna yaş ortalaması 36,3 (SS 6,4) olan 16 dipeçer katıldı. İşletme gereklilikleri nedeniyle, çalışmanın müdahale koşuluna yaş ortalaması 4,02 olan (SS 6,2) 10 dipeçer katılabilirdi. Dispeçerler her iki koşulda da normal işletme planını, başka bir deyişle, 3 gün gündüz (gündüz), 3 gün dinlenme (gündüzden geceye vardiyasına geçiş), 3 gün gece (gece), ve 3 gün dinlenme (geceden gündüz vardiyasına geçiş) biçimindeki değişimli vardiya sistemini takip etti.

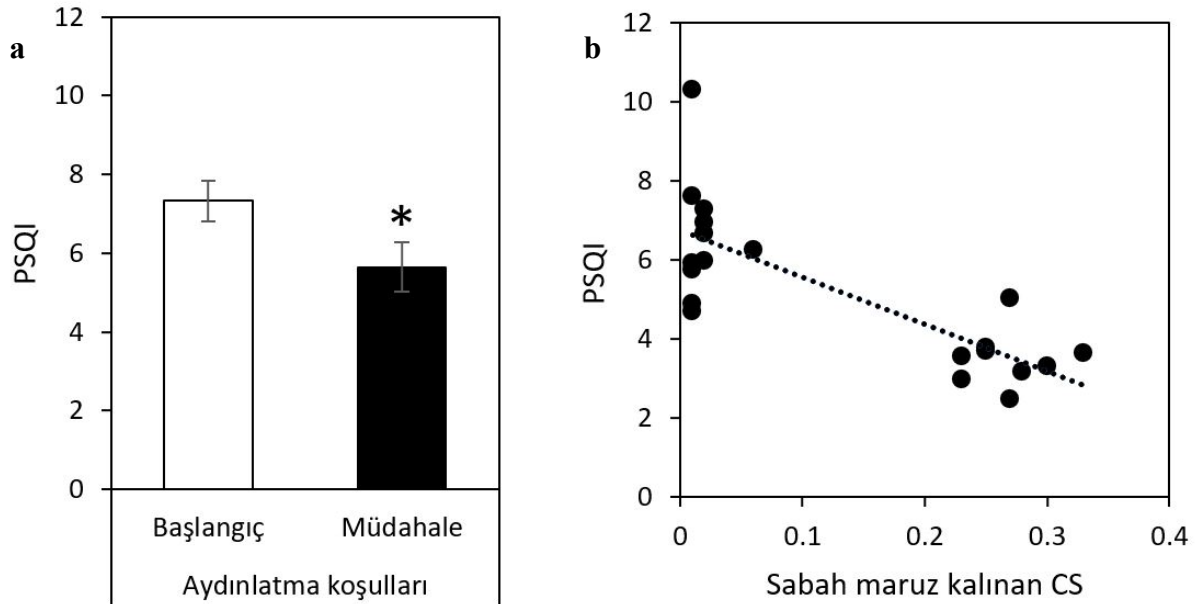
Katılımcı dispeçerler her iki koşulda gerçekleşen 13 günlük deneysel veri toplama süresince Daysimeter isimli deneysel cihazı, uyanıkken kolye gibi boyunlarında, uyurken saat gibi kollarında taşıdılar. Daysimeter cihazı kişinin günlük maruz kaldığı ışık miktarını, sirkadiyen uyarıyı ve aktivite/dinlenme bilgilerini kaydeder. Katılımcılar uykululuk durumlarını Karolinska Uykululuk Ölçeği'ni uyanık oldukları süre boyunca her dört saatte bir raporladı. Katılımcılar ayrıca Pittsburg Uyku Kalite Endeksi'ni bir kez başlangıç aşaması bir kez de müdahale sonrası olmak üzere iki kez doldurdu.

Daysimeter cihazlarından elde edilen verilerin analizleri, müdahale koşulundaki sirkadiyen uyarının başlangıç koşuluna kıyasla anlamlı derecede büyük olduğunu ($CS \approx 0,3$), gece vardiyasında dispeçerlerin kumanda merkezinde maruz kaldığı ortalama sirkadiyen uyarının da 0,1 değer aralığında kaldığını gösterdi. Elde edilen bu sonuçlar çalışma öncesi yapılan CS simülasyonlarıyla uyum içindedir.



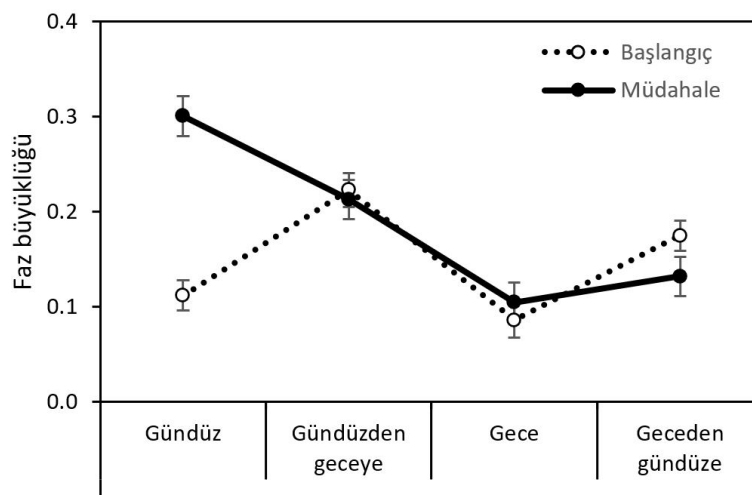
Şekil 2. Gündüz, gece vardiyası ve dinlenme dömenlerinde ölçülen ortalama sirkadiyen uyarı: Dispeçerlerin kumanda merkezinde çalıştıkları zaman dilimini gösterir.

Yapılan analizlerin sonuçları, müdahale koşulu için uygulanan yeni dinamik aydınlatma sisteminin, başlangıç koşuluna nispetle, çalışanların uyku kalitesini anlamlı derecede yükselttiğini gösterdi (Şekil 3a). Uyku kalitesinde gözlemlenen bu artış ile sabah saatlerinde alınan yüksek sirkadiyen uyarı arasında da istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon tespit edildi (Şekil 3b).



Şekil 3. Aydınlatma koşulları için ortalama PSQI değerleri (a), PSQI değerleri ile sabah maruz kalınan sirkadiyen etki (CS) arasındaki anlamlı korelasyon (b)

Sirkadiyen uyum göstergesi olarak değerlendirilen faz büyüklüğü üzerinde yapılan analizler, gündüz vardiyasında çalışanların sirkadiyen uyumlarının müdahale koşulunda, başlangıç koşuluna nispetle, anlamlı derecede güçlendiğini de gösterdi (Şekil 4). Nesnel uykululuk ölçeğinde azalma, dinlenme günlerinde görülürken, loş ışık melatonin başlangıcında başlangıç koşulu ile müdahale koşulu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlemlenmedi.



Şekil 4. Başlangıç ve müdahale koşullarında her bir vardiyaya için faz büyüklüğü

Alanında ilk olan bu araştırma-uygulama projesi, sirkadiyen aydınlatma uygulamalarının kumanda merkezinde vardiyalı çalışan dispeçerlerin sirkadiyen uyumlarını güçlendirdiğini ve uyku kalitelerini artırdığını göstermektedir ve vardiyalı çalışan diğer endüstrilere uygulanabilir önemli çıktılar sunmaktadır.

KAYNAKÇA

1. M. G. Wendeu-Foyet and F. Menegaux, "Circadian Disruption and Prostate Cancer Risk: An Updated Review of Epidemiological Evidences," *Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev.*, vol. 26, no. 7, pp. 985–991, 2017.
2. L. B. Samuelsson, D. H. Bovbjerg, K. A. Roecklein, and M. H. Hall, "Sleep and circadian disruption and incident breast cancer risk: An evidence-based and theoretical review," *Neurosci. Biobehav. Rev.*, vol. 84, no. March 2017, pp. 35–48, 2018.
3. C. Schwarz, A. M. Pedraza-Flechas, V. Lope, R. Pastor-Barriuso, M. Pollan, and B. Perez-Gomez, "Gynaecological cancer and night shift work: A systematic review," *Maturitas*, vol. 110, no. December 2017, pp. 21–28, 2018.
4. S. M. James, K. A. Honn, S. Gaddameedhi, and H. P. A. Van Dongen, "Shift Work: Disrupted Circadian Rhythms and Sleep—Implications for Health and Well-being," *Curr. Sleep Med. Reports*, vol. 3, no. 2, pp. 104–112, 2017.
5. W. E. Health, W. Is, M. Cb, D. Pa, and B. Columbia, "Shift work trends and risk of work injury among Canadian workers," *Scand J Work Env. Heal.*, vol. 37, no. 1, pp. 54–61, 2011.
6. A. Williamson, D. A. Lombardi, S. Folkard, J. Stutts, T. K. Courtney, and J. L. Connor, "The link between fatigue and safety," *Accid. Anal. Prev.*, vol. 43, no. 2, pp. 498–515, 2011.
7. R. G. Stevens *et al.*, "Considerations of circadian impact for defining 'shift work' in cancer studies: IARC Working Group Report," *Occup. Environ. Med.*, vol. 68, no. 2, pp. 154–162, Feb. 2011.
8. C. A. Czeisler *et al.*, "Stability, precision, and near-24-hour period of the human circadian pacemaker," *Science (80-.)*, vol. 284, no. 5423, pp. 2177–2181, 1999.
9. J. L. Suman, A. M. Tinga, S. F. Te Pas, R. van Ee, and B. N. S. Vlaskamp, "Acute alerting effects of light: a systematic literature review.," *Behav. Brain Res.*, no. September, 2017.
10. K. Thapan, J. Arendt, and D. J. Skene, "An action spectrum for melatonin suppression: Evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans," *J. Physiol.*, vol. 535, no. 1, pp. 261–267, 2001.
11. G. C. Brainard *et al.*, "Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor.," *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, vol. 21, no. 16. pp. 6405–12, 2001.
12. L. Sahin and M. G. Figueiro, "Alerting effects of short-wavelength (blue) and long-wavelength (red) lights in the afternoon," *Physiol. Behav.*, vol. 116–117, pp. 1–7, 2013.
13. L. Sahin, B. M. Wood, B. Plitnick, and M. G. Figueiro, "Daytime light exposure: Effects on biomarkers, measures of alertness, and performance," *Behav. Brain Res.*, vol. 274, pp. 176–185, 2014.
14. Y. Okamoto, M. S. Rea, and M. G. Figueiro, "Temporal dynamics of EEG activity during short- and long-wavelength light exposures in the early morning," *BMC Res. Notes*, vol. 7, no. 1, 2014.
15. K. Łaszewska *et al.*, "Daytime Acute Non-Visual Alerting Response in Brain Activity Occurs as a Result of Short- and Long-Wavelengths of Light," *J. Psychophysiol.*, vol. 32,

no. 4, pp. 202–226, 2018.

16. M. G. Figueiro, L. Sahin, B. Wood, and B. Plitnick, “Light at Night and Measures of Alertness and Performance: Implications for Shift Workers,” *Biol. Res. Nurs.*, vol. 18, no. 1, pp. 90–100, 2016.
17. M. Rea, M. Figueiro, A. Bierman, and R. Hamner, “Modelling the spectral sensitivity of the human circadian system,” *Light. Res. Technol.*, vol. 44, no. 4, pp. 386–396, Dec. 2012.

Teşekkür

Bu çalışmadaki finansal ve yönetsel desteklerinden dolayı Metro İstanbul kurumuna, önceki Genel Müdür Kasım Kutlu’ya, Genel Müdür Yardımcısı Mustafa Metin Yazar’a, dönemin Proje Müdürü Köksal Kotil’e, Operasyon Müdürü Yıldırım Yedikardeş’e, kontrol merkezi Şefi Alper Hakan Arsal’a, Supervizör Bülent Karacuha ve çalışmaya katılan tüm dispeçerlere teşekkür ederiz. Proje Müdürlüğü çalışanlarından Seyma Ekşi’ye, Ebru Aydın’a ve Emrah Arı’ya deneysel veri toplama sürecinde gösterdikleri destek için teşekkür ederiz. Projede kullanılan sirkadiyen aydınlatma ve elektronik kontrol sistemini temin eden Proje Sponsoru EAE Aydınlatma’ya öncü katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

OFİSLERDE YAPAY AYDINLATMA TASARIM PARAMETRELERİNİN GÖRSEL KONFOR VE ENERJİ PERFORMANSI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Elif Öztürk Gül ¹, Mustafa Kavraz²

¹ Giresun Üniversitesi, Şebinkarahisar Teknik Bilimler MYO, İç mekân Tasarımı, elif.gul@giresun.edu.tr

² Karedeniz Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Anabilim Dalı, mkavraz@ktu.edu.tr

Günümüzde ofislerde geçirilen yoğun çalışma saatlerinden dolayı, bu mekanlarda fizik ortam öğeleri açısından kullanıcı konforuna yönelik uygun koşulların sağlanması gerekir. Söz konusu koşullardan biri de fizik ortam öğelerinden biri olan aydınlatma konusudur. Aydınlatma düzeni, görsel konfor koşullarının sağlanması, eylemlerin zorlanmadan ve yorulmadan verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi açısından önemlidir. Bu çalışmada yapay aydınlatma tasarım parametrelerinin görsel konfor ve enerji performansı üzerindeki etkileri incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Yapay aydınlatmaya ilişkin değişkenler; ışık akısı, lamba gücü, etkinlik faktörü, lamba türü, aydınlatma biçimi ve aygıtların optik özellikleri olarak belirlenmiştir. Oluşturulan senaryolar DIALUX EVO simülasyon programında modellenmiş ve gerekli hesaplamalar aydınlık düzeyi, aydınlığın dağılımı, kamaşma değerleri ve enerji kullanımı doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda tasarımcılara faydalı olabilecek bulgular elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapay Aydınlatma, Ofisler, Görsel Konfor, Enerji Performansı

Evaluation of Artificial Lighting Design Parameters in Offices in Terms of Visual Comfort and Energy Performance

Today, due to the intense working hours spending in offices, it is necessary to provide appropriate conditions for user comfort in terms of physical environment elements. One of the conditions in question is the subject of lighting, which is one of the elements of the physical environment. The lighting scheme is important in terms of providing visual comfort conditions and performing the actions efficiently without difficulty and fatigue. In this study, the effects of artificial lighting design parameters on visual comfort and energy performance were examined and evaluated. Variables related to artificial lighting; luminous flux, lamp power, efficiency factor, lamp type, lighting style and optical properties of devices. The scenarios created were modeled in the DIALUX EVO simulation program and the necessary calculations were made in line with the illuminance level, luminance distribution, glare values and energy use. As a result of the evaluations, findings that can be useful to designers were obtained.

Keywords: Artificial Lighting, Offices, Visual Comfort, Energy Performance

1. GİRİŞ

Ofisler, insanların yaşamlarının önemli bir bölümünü geçirdikleri çalışma ortamları olmaları açısından büyük önem taşıyan mekanlardır. Bu nedenle kişilerin yaptıkları işlerin niteliğine göre istekli ve verimli bir biçimde çalışmalarının sağlanması için uygun fiziksel ortam koşullarının oluşturulması gerekmektedir. Fiziksel ortam koşullarından biri olan aydınlatma ofislerde çalışanların görsel konforu, performansı ve güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır. Görsel konfor, aydınlatma tekniği yönünden, iyi görme koşullarını sağlayacak düzenlerin oluşturulması ile gerçekleştirilir. Böylece, uygun bir aydınlatma düzeni ile mekânın kolayca algılanabilmesi ve rahat bir çalışma ortamı sağlanabilir. Bu mekanlarda kullanıcı görsel konforunun sağlanmasında etkili olan aydınlatma tasarım ölçütleri belirlenirken aydınlığın niceliğinin yanı sıra aydınlığın niteliği ile ilgili özellikler de eylemlerin rahatça

gerçekleştirilebilmesi açısından önem taşımaktadır [1]. Aydınlatmaya yönelik güncel standart ve yönetmeliklerde mekân ve kullanıcı özelliklerine bağlı olarak sağlanması gereken aydınlığın nicelik ve nitelik özellikleri şu şekilde yer almaktadır: Aydınlık düzeyi (E), Aydınlığın Dağılımı (U_0), Parıltı (Işıklık) dağılımı, Kamaşma (UGR), Işığın Renksel özellikleri, Işığın Doğrultusal Yapısı [2,3]. Aydınlatmanın görsel konfor koşullarını sağlamasının yanı sıra, aydınlatma sistemi tasarımlarında uygun enerji kullanımı da önemli bir etmendir. Günümüzde giderek artan enerji ihtiyaçları ve buna bağlı olarak ortaya çıkan enerji maliyetleri nedenleriyle, enerji etkinliğinin gözetilmesi konusu öne çıkmıştır [4]. Dünyada ve ülkemizde, aydınlatmada harcanan enerjinin büyüklüğü nedeniyle, özellikle ofis mekânları gibi uzun süreli ve gün boyu kullanılan hacimlerde, uygun değer enerji kullanımı önem verilmesi gereken bir konudur.

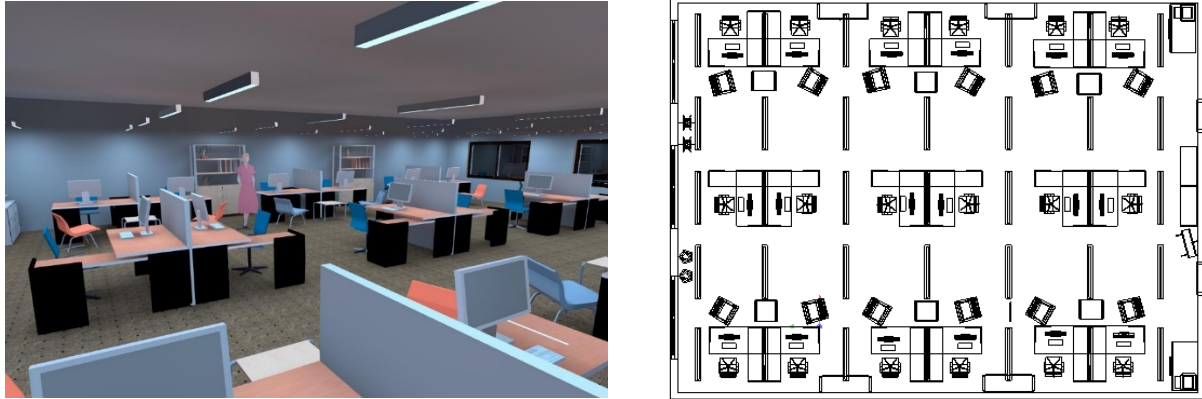
Bu çalışmanın amacı, ofislerde yapay aydınlatma tasarım parametrelerinin görsel konfor ve enerji tüketimine etkilerinin belirlemeye yönelik bir yaklaşım geliştirmektir. Çalışmada, yapay aydınlatma sistemlerine ilişkin belirli tasarım değişkenleri ile farklı senaryolar oluşturulmuştur. Yapay aydınlatmaya ilişkin değişkenler; ışık akısı, lamba gücü, etkinlik faktörü, lamba türü, aydınlatma biçimi ve aygıtların optik özellikleri olarak belirlenmiştir. Belirlenen değişkenler doğrultusunda güncel üretici kataloglarından seçilen 34 aydınlatma aygıtı ile üç farklı iç yüzey yansıtma çarpanı için ofis örneği üzerinden 102 senaryo oluşturulmuştur. Oluşturulan senaryolar DIALUX Evo simülasyon programında modellenmiş ve gerekli hesaplamalar aydınlık düzeyi aydınlığın dağılımı, kamaşma değerleri ve enerji kullanımı doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Yapılan hesaplamalar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş, aydınlatma tasarımı için tasarımcıya yardımcı olabilecek bulgular elde edilmiştir. Bu çalışmada ofis modellerinin simülasyonu sonucu elde edilen veriler istatistiksel bir yöntem olan regresyon analizi yöntemi ile değerlendirilerek değişkenlerin görsel konfor ve enerji tüketimi üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

2. YÖNTEM VE KABULLER

Geliştirilen çalışma doğrultusunda literatürde büro tiplerinin tasarımında kullanılan 1.25 lik modül boyutu kullanılmıştır [5]. Bu modülün katları büyütülerek 11,25mx15mx3m boyutlarında grup büro sınıflandırmasında yer alan açık planlı bir ofis tasarlanmıştır. Boyutları belirlenen ofis hacmi, 18 kişinin çalışabileceği şekilde ofis donatıları ile modellenmiştir (Şekil 1). Hacimde iç yüzey yansıtma çarpanları için üç ayrı alternatif belirlenmiştir. Ülkemizde yürürlükte olan TS EN “12464-1 Işık ve Işıklandırma – İş Mahallerinin Aydınlatılması başlıklı standartta, ofis mekanları için verilen iç yüzey yansıtma çarpanlarından yararlanılarak döşeme, duvar ve tavan için sırası ile R1: 0.10, 0.30, 0.60, R2: 0.30, 0.50, 0.70 ve R3: 0.50, 0.70, 0.90 kabul edilmiştir. Donatıların ışık yansıtma çarpanı 0.50; çalışma düzlemi yüksekliği ise 0,80 m olarak alınmıştır.

Bu çalışmada belirtilen amaç doğrultusunda yapay aydınlatmaya ait değişkenler şu şekilde oluşturulmuştur. Lambaya ait değişkenler; ışık akısı, lamba gücü, etkinlik faktörü (ışıksal verim), lamba türüdür. Aygıtı ait değişkenler; aydınlatma biçimi ve aygıtların yansıtıcı türüdür (paletli, opal, ve mikrop prizmatik yansıtıcı özelliklerine sahip aydınlatma aygıtları). Aydınlatma biçimi açısından ofis mekanları için uygun olabilecek dolaysız, yarı dolaysız ve yarı dolaylı aydınlatma biçimlerine sahip aygıtlar seçilmiştir. Dolaysız aydınlatma biçimi için yüzeye monte ve sarkıt uygulamalı olarak iki alternatif oluşturulmuştur. Bu belirlemeler dışında renksel geriverim ve renk sıcaklığı değerleri eşdeğer tutulmuş, 4000K renk sıcaklığında ve 80 Ra renksel geriverim değerlerinde ürünler seçilmiştir. Aygıt formu boyutları benzer olacak şekilde ofislerde yaygın olarak kullanılan lineer tip aygıt olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda

oluşturulan değişkenler doğrultusunda simülasyon programı içeriğinden çeşitli firma kataloglarına ulaşarak, yapay aydınlatma alternatifleri oluşturulmuştur. (Tablo 1).



Şekil 1. Dialux evo programında modellenen ofis hacmi ve aygıt yerleşim planı örneği

Tablo 1. Yapay aydınlatma değişkenleri

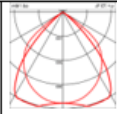
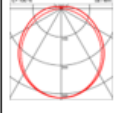
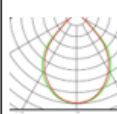
AYGITA AIT DEĞİŞKENLER			LAMBAYA AIT DEĞİŞKENLER				
Aydınlatma biçimi	Aygıt yansıtıcı türü	Aygıt modeli	Işık Akısı (lm)	Lamba gücü (W)	Etkinlik faktörü (lm/w)	Güç faktörü	Lamba türü
Dolaysız yüzeye monte	Paletli	1-Philips TCS 260	2427	38W	63.7lm/w	0.73	Flüoresan
		2-Philips TCS 460	2527	38W	66.4 lm/w	0.76	Flüoresan
		3-Fagerhult Closs Direct	2903	22W	131.9lm/w	0.91	LED
	Opal	4- Philips Rcl27v	3600	36W	100lm/w	1.0	LED
		5- Philips Smc150	3700	35W	105.7lm/w	1.0	LED
		6- Regiolux Lbak T5	3429	45W	70lm/w	0.80	Flüoresan
	Mikroprizmatik	7-Zumbotel Lf3 E	3600	28W	129lm/w	0.95	LED
		8- Zumbotel Mlevo Ea	3540	30W	115lm/w	0.91	LED
		9-Rıdı WL 221P	2688	45W	60lm/w	0.71	Flüoresan
Yarı dolaysız	Paletli	10- Philips Tps682	2330	38W	61.3lm/w	0.70	Flüoresan
		11- Fagerhult Closs	2556	38W	67.5lm/w	0.77	Flüoresan
		12- Halla zuli 121-501M	3770	28W	137.6lm/w	-	LED
	Opal	13-Philips Sp342p	3600	29W	124lm/w	1	LED
		14-Halla Lina 45-501k-	3500	36W	97lm/w	0.90	LED
		15-Regiolux hlhg T5	2599	49w	53lm/w	0.60	Flüoresan
	Mikroprizmatik	16-Fagerhult Notor 78 Delta	3400	30W	113.3lm/w	0.86	LED
		17- Halla Lina 45-5011	3230	36W	89.7lm/w	0.90	LED
		18- Philips TPS 680	2456	38W	64.6lm/w	0.73	Flüoresan
Dolaysız sarkıt	Paletli	19- Philips TCS 460	2527	38W	66.4 lm/w	0.76	Flüoresan
		20- Halla- Zuli 121-500M	3580	26W	138.2lm/w	-	LED
		21- Philips Sp140p	3800	40W	95lm/w	0.90	LED
	Opal	22- Philips Sp531p	3100	31 W	96.8lm/w	1	LED
		23- Regiolux hlhg T5	2454	49W	50lm/w	0.57	Flüoresan
		24- Philips SP340P	3584	35W	102.4lm/w	0.99	LED
	Mikroprizmatik	25- LAMP PLAT G3	3393	31W	109.5lm/w	0.90	LED
		26- Rıdı WL 221P	2688	45W	60lm/w	0.71	Flüoresan
		27-Fagerhult DTI- led type 2	3020	21W	143.8lm/w	-	LED
Yarı dolaylı	Paletli	28- Regiolux Rsadic T5	3236	35W	92.5lm/w	0.98	Flüoresan
		29- Regiolux Cuhig T5	2212	35W	63.2lm/w	0.67	Flüoresan
		30-Ligman Nybro 9	2884	29W	99 lm/w	-	LED
	Opal	31-Bright notus 17	3880	34 W	114lm/w	-	LED
		32-Fagerhult Notor 65 Delta	3500	30W	116.6lm/w	-	LED
		33-Regiolux SHPI 1200-2	4000	28.5W	143.4lm/w	-	LED
	Mikroprizmatik	34- Rıdı F-line	2667	39W	68.4lm/w	0.81	Flüoresan

Aydınlatma düzeni, Şekil 1’de verilen örnek plan üzerinde görüldüğü gibi masaların kesişim aksında ve koridor akslarında, bakış doğrultusuna paralel olarak önerilmiştir. Aydınlatma düzeni, mekânda gerçekleştirilen eylemler doğrultusunda TS EN 12464-1 Işık ve Işıklandırma-İş Mahallerinin Aydınlatılması başlıklı standartta önerilen minimum ortalama aydınlık düzeyi

(E_{ort}) ve düzgün yayılmışlık oranı (U_o ; E_{min}/E_{ort}) dikkate alınarak tasarlanmış ve aydınlatma aygıtı sayısı bütün senaryolar için sabit tutulmuştur (Tablo 2) [6]. Oluşturulan aygıt alternatiflerinden ışık yeğinlik diyagramı ve aygıt görsellerine ait birkaç örnek Şekil 2'de verilmiştir. Çalışma doğrultusunda aydınlatma tasarım parametrelerinin görsel konfor ve enerji tüketimi üzerindeki etkilerini ölçmek amacıyla DIALux evo aydınlatma simülasyon programı kullanılmıştır.

Tablo 2. Sağlanması önerilen minimum aydınlatma koşulları

Eylem türü	E_{ort} (lm/m ²)	U_o (E_{min}/E_{ort})	UGR
Bilgisayar destekli çalışma birimleri (CAD work stations)	500	0,6	<19

Dolaysız Yüzeye monte paletli aydınlatma			PHILIPS TCS 260 LX TL5- 35W HFP C6
Dolaysız yüzeye monte Opal aydınlatma			PHILIPS SMC150 L1440 1XLED37S/840
Yarı dolaysız Paletli aydınlatma			FAGAERHULT CLOSS TEREZZA DIRECT/INDIRECT 1XT16 35W
Dolaysız Sarkıt Mikroprizmatik Aydınlatma			PHILIPS SP340P 36S/940 PSD MLO SMT L120 WH
Yarı dolaylı Opal aydınlatma			LIGMAN, NYBRO 9 PENDANT LUMINAIRES NYB-90111-P-W40

Şekil 2. Aygıt görselleri ve ışık yeğinlik diyagramına ait örnekler

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Çalışma kapsamında yapay aydınlatma sisteminin görsel performans değerlendirilmesi, oluşturulan senaryolar ile sağlanan aydınlık düzeyi, aydınlığın dağılımı ve kamaşma değerlerinin analizleri ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan değerlendirmelerde EN 12464-1 (Işık ve Aydınlatma – Çalışma Alanlarının Aydınlatılması) standardında belirtilen minimum değerler kriter olarak alınmıştır. Ele alınan senaryolara ilişkin enerji performans değerlendirmeleri iki ayrı biçimde tanımlanmıştır. Bunlardan ilki m² başına harcanan enerji miktarını gösteren (w/m²) aydınlatma güç yoğunluğu değerlerinin analizleri ile gerçekleştirilmiştir. Diğeri ise aydınlatma düzeninin belli büyüklükteki bir alan üzerinde oluşturduğu aydınlık düzeyi için harcanan elektrik enerji miktarı olarak değerlendirilmiştir. (W/(lm/m²)). [7]. Yapay aydınlatmaya ait değişkenler ve üç farklı yüzey yansıtma çarpanı alternatifleri ile 102 senaryo için veri elde edilmiştir. Bu senaryoların ofis yapısında görsel konfor ve enerji tüketim değerlerine göre ortaya çıkardığı verilerin bir kısmı Tablo 3'te gösterilmiştir.

Çalışmada incelenen ofis modeline ait simülasyon sonuçları ile elde edilen veriler, çoklu doğrusal regresyon eşitliklerini temel alan istatistiksel modeller oluşturmak için kullanılmıştır. Çoklu doğrusal regresyon eşitliklerinde görsel konfor ve enerji performansını tahmin etmek için belirlenen değişkenler vasıtasıyla, adım adım seçme (stepwise) çoklu doğrusal regresyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde en güvenilir çoklu doğrusal regresyon eşitliği elde etmek için modele dahil edilen her bir bağımsız değişken en yüksek korelasyona sahip olandan başlanmak üzere teker teker modele sokulmuştur. Sonuç olarak anlamlılık düzeyi en yüksek modelin elde edilmesi sağlanmıştır

Tablo 3. Simülasyon verileri

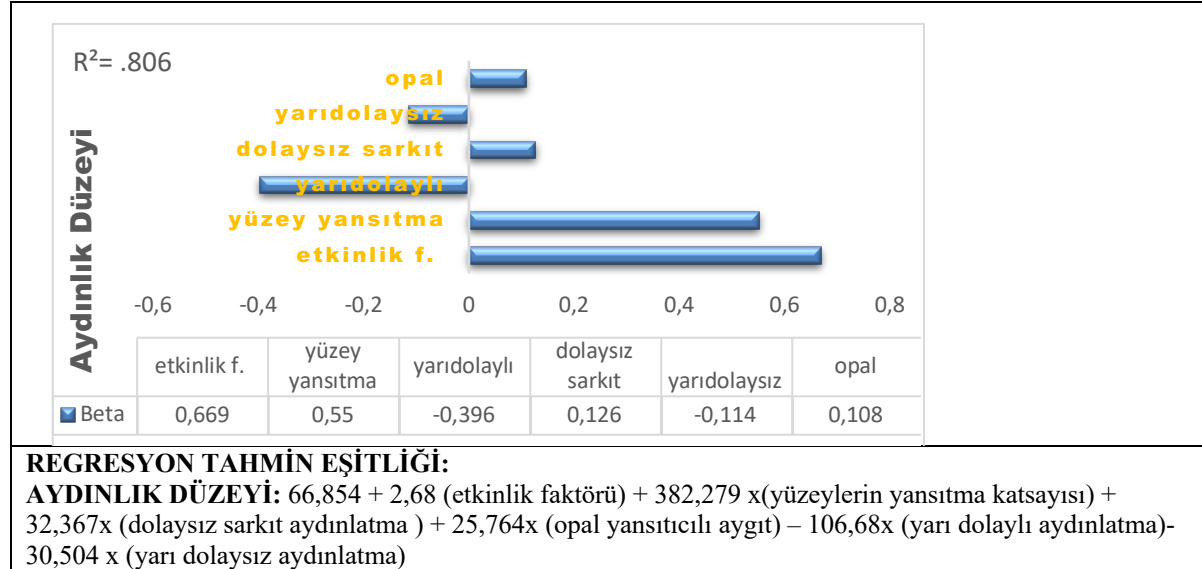
Aygıt sayısı	Yüzey yansıtma çarpanı	AYGIT KODU	Görsel konfor açısından değerlendirme						Enerji Performansı	
			Aydınlık düzeyi(E_m ;lux)	KRİTER: 500 lux İLGİLİ KAYNAK: EN124641	Aydınlığın dağılımı(U_o)	KRİTER: >0.6 İLGİLİ KAYNAK: EN124641	Kamaşma (UGR)	KRİTER: ≤ 19 İLGİLİ KAYNAK: EN124641	(W/m ²)	W/lm/m ²
7x5	R1	1	383		0,64		21,1		7,9	3,5
	R1	2	399		0,63		22,3		7,9	3,3
	R1	3	446		0,62		23,2		4,5	1,7
	R1	4	524		0,59		21,2		7,4	0,2
	R1	5	478		0,63		24,0		7,2	2,5
	R1	6	456		0,60		22,6		9,3	3,5
	R1	7	540		0,62		18,9		5,8	1,8
	R1	8	521		0,61		20,5		6,2	2
	R1	9	334		0,61		25,9		9,3	4,7
	R1	10	350		0,62		23,7		7,9	3,8
	R1	11	336		0,64		20,7		7,9	4
	R1	12	549		0,51		22,4		5,8	1,8
	R1	13	469		0,62		24,4		6	2,1
	R1	14	433		0,65		26,2		7,4	3
	R1	15	328		0,66		23,1		5,4	5,2
	R1	16	445		0,63		20,6		3,2	2,3
	R1	17	415		0,56		22,5		7,4	3
	R1	18	575		0,57		29,4		4,1	2.4
	R1	19	463		0,60		28		3,5	2,3
	R1	20	363		0,61		27,1		2,3	4,7

Simülasyonlar sonunda elde edilen veriler ile görsel konfor koşullarını ve enerji performansını belirlemek üzere, bütün değişkenleri kapsayan çoklu doğrusal regresyon analizi yapılmıştır. Bu noktada, görsel performans ölçmek üzere aydınlık düzeyi, aydınlığın dağılımı ve kamaşma değerleri için 3 ayrı regresyon analizi yapılmıştır. Yapay aydınlatmaya ait değişkenlerin (ışık akısı, lamba gücü, etkinlik faktörü, lamba türü, aydınlatma biçimi, aygıt yansıtıcı türü) tümü analizlere katıldığında ışık akısı ve etkinlik faktörü arasında güçlü korelasyon ilişkisi çıkmıştır. Bu durumda regresyon analizlerinden anlamlı sonuç alınamadığı için, lümen/ watt değerini gösteren etkinlik faktörü değerlendirmelere katılmıştır. Çoklu doğrusal regresyon analizlerine alınan değişkenler yüzeylerin yansıtma çarpanları, etkinlik faktörü, lamba türü, aydınlatma biçimi, aygıt yansıtıcı türü olarak belirlenmiştir.

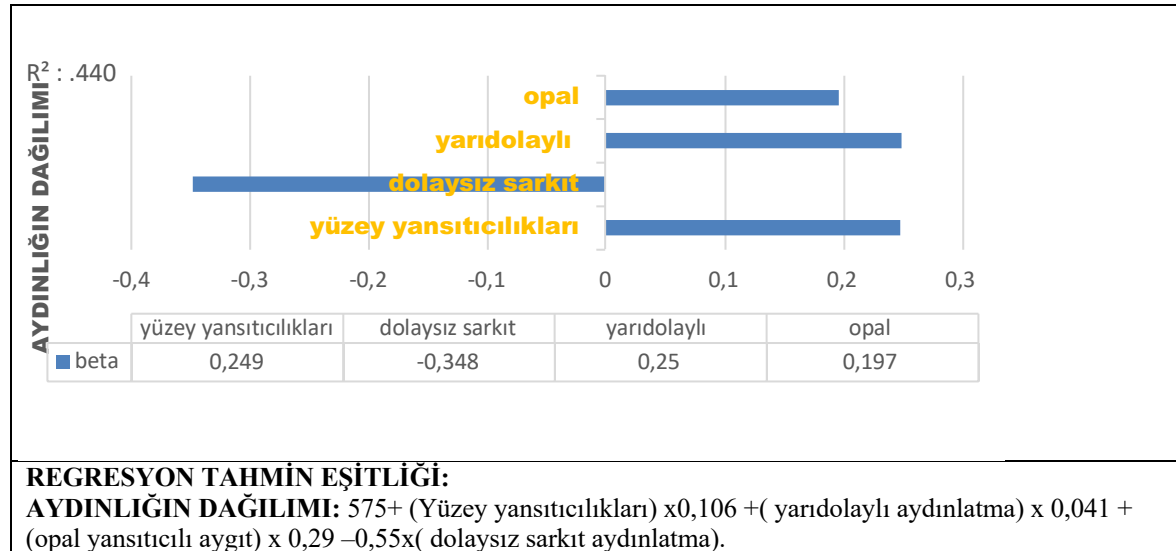
Aydınlık düzeyi için elde edilen çoklu doğrusal regresyon eşitliği ve modele ait tasarım parametrelerinin aydınlık düzeyine etkileri Tablo 4’de verilmiştir. Yüzeylerin yansıtma katsayısı, etkinlik faktörü, dolaysız sarkıt aydınlatma biçimi ve opal yansıtıcı aygıtlar aydınlık düzeyini pozitif yönde etkileyirken, yarı dolaysız ve yarı dolaylı aydınlatma biçimleri aydınlık düzeyini negatif yönde etkileyerek formülde negatif değer almışlardır. Aydınlığın dağılımı için elde edilen çoklu doğrusal regresyon eşitliği ve modele ait tasarım parametrelerinin aydınlığın dağılımı üzerindeki etkileri Tablo 5’de verilmiştir. Yüzeylerin yansıtma katsayılarındaki artış,

yarı dolaylı aydınlatma biçimi ve opal yansıtıcı aygıtların aydınlığın dağılımını pozitif yönde etkileyerek, aydınlığın düzgün dağılımına katkı sağlamaktadırlar. Dolaysız sarkıt aydınlatma biçiminin ise aydınlığın dağılımını negatif yönde etkilediği görülmüştür. Aynı hacimde, kamaşma kontrolü için elde edilen çoklu doğrusal regresyon eşitliği ve modele ait tasarım parametrelerinin kamaşma üzerindeki etkileri Tablo 6’da verilmiştir. Burada, yüzeylerin yansıtma katsayıları, yarı dolaylı aydınlatma biçimi ve mikrop prizmatik yansıtıcı aygıtların kamaşma değerlerini pozitif yönde etkilediği görülürken, yarı dolaysız ve dolaysız sarkıt aydınlatma biçimlerinin kamaşma değerlerini negatif etkilediği görülmüştür.

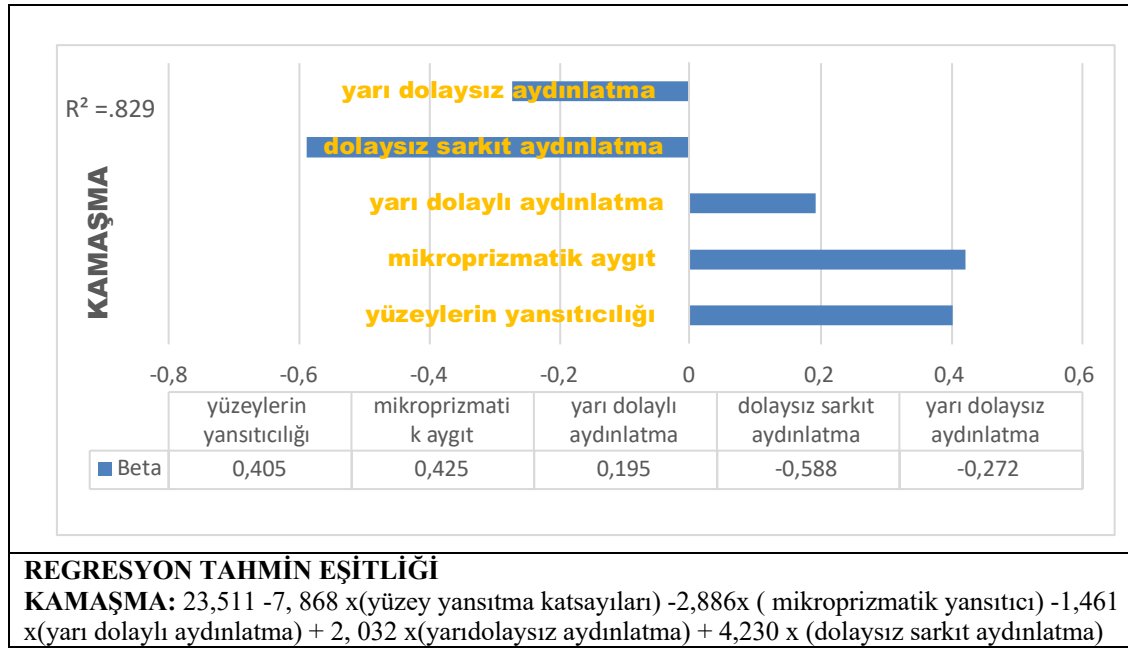
Tablo 4. Aydınlık düzeyi için elde edilen çoklu doğrusal regresyon eşitliği ve modele ait tasarım parametrelerinin aydınlık düzeyine etkileri



Tablo 5. Hacim 1’e ait Aydınlığın dağılımı için elde edilen çoklu doğrusal regresyon eşitliği ve modele ait tasarım parametrelerinin aydınlığın dağılımı üzerindeki etkileri

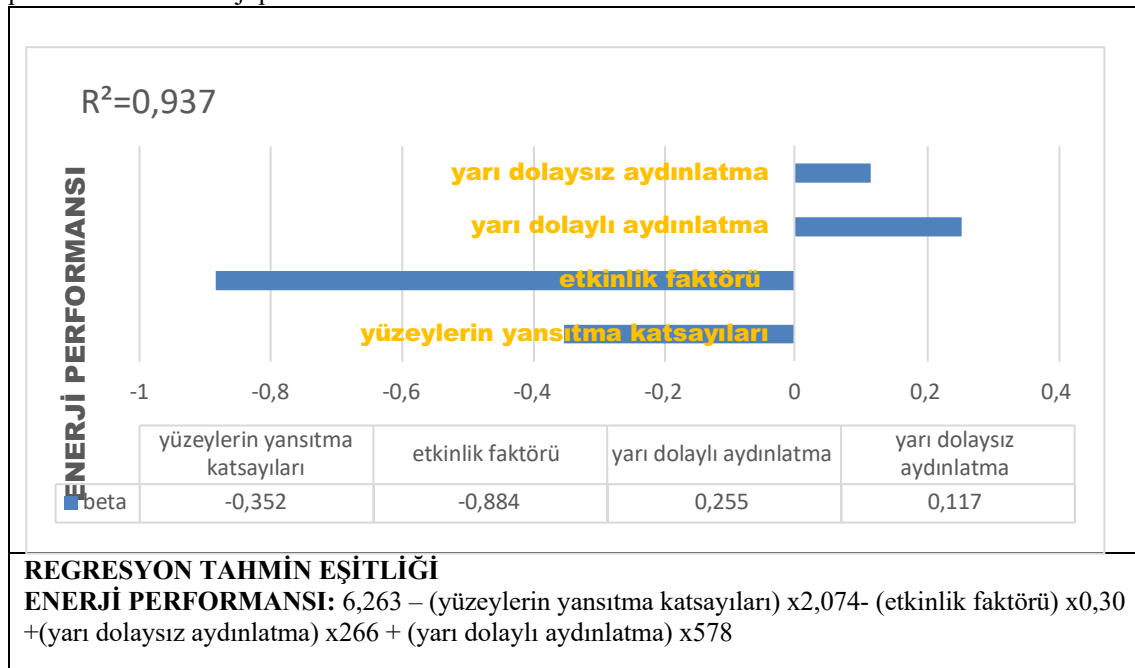


Tablo 6. Kamaşma için elde edilen çoklu doğrusal regresyon eşitliği ve modele ait tasarım parametrelerinin kamaşma üzerindeki etkileri



Enerji performansı ile ilgili elde edilen çoklu doğrusal regresyon eşitliğine bakıldığında, değişkenlerden etkinlik faktörü ve iç yüzey yansıtma çarpanlarındaki artışın enerji tüketimini azalttığı görülmüştür (Tablo 7). Bu noktada lümen/watt eşitliğini veren etkinlik faktörü değeri, düşük watt gücü ile yüksek aydınlık düzeyi sağlayabilen ışık kaynaklarını tanımlamaktadır. Tablo 1 de yapay aydınlatma değişkenlerine bakıldığında, LED ışık kaynaklarının daha yüksek etkinlik değerlerine sahip olduğu görülecektir. Bunların dışında, yarı dolaysız ve yarı dolaylı aydınlatma biçimlerine sahip senaryoların enerji tüketimini arttırdığı görülmüştür. Aydınlık düzeyi değerlerini de negatif etkileyen bu aydınlatma biçimlerinde, optimum aydınlık düzeyini elde etmek için enerji ihtiyacının artacağı görülmektedir.

Tablo 7. Enerji Performansı için elde edilen çoklu doğrusal regresyon eşitliği ve modele ait tasarım parametrelerinin enerji performansı üzerindeki etkileri



4. SONUÇ

Bu çalışmada ofislerde yapay aydınlatma tasarım parametrelerinin görsel konfor ve enerji tüketimine etkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Yapay aydınlatma sistemlerine ilişkin belirli tasarım değişkenleri ve yüzey yansıtıcılık değerlerindeki alternatifler ile farklı senaryolar oluşturulmuştur. Yapılan hesaplamalar sonucunda, aydınlatma tasarımı için tasarımcıya yardımcı olabilecek bulgular elde edilmiştir. Oluşturulan ofis modelinin simülasyonu sonucu elde edilen veriler istatistiksel bir yöntem olan regresyon analizi yöntemi ile değerlendirilerek değişkenlerin görsel konfor ve enerji tüketimi üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Regresyon eşitliklerine dayalı istatistiksel model aracı ile ofislerde aydınlatma tasarımları için ön tasarım aşamasında uygun parametre değerlerinin belirlenmesine yönelik bulgular elde edilmiştir.

Bu çalışmada ele alınan ışık kaynağı ve aygıt özellikleri bağlamında yapılan tasarımlar, hesaplamalar ve bulgular, ofis işlevli mekanlarda kurulacak aydınlatma düzenleri için dikkat edilmesi gereken aydınlatma parametreleri konusunda katkı sağlayacaktır. Ayrıca, aydınlatma alanında lamba ve aydınlatma aygıtları teknik ve estetik yönleri ile her geçen gün daha iyileşmekte ve belirli bir aydınlatma tasarımı için pek çok seçenek sunabilmektedir. Yapay ışık kaynağı ve aygıtlarda yaşanan bu durum, aydınlatma tasarımcılarını teknik ve ekonomik olarak en uygun tasarımı yapmak konusunda daha zor karar vermelerine yol açmaktadır. Bu çalışmada izlenilen yöntem, aydınlatma tasarımcıları için, işlevine uygun bir aydınlatma düzeni oluşturma ve aygıt seçimi konusunda yön verici olabilecektir.

KAYNAKÇA

1. Ünver R., Görsel Konfor ve Aydınlatma, VI. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, 127-138, İzmir, 24-25 Kasım 2011.
2. The Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE), Code for Interior Lighting, London, 1984.
3. The IESNA Lighting Handbook: Reference & Application, New York: Illuminating Engineering Society of North America, 2000.
4. Başkan T.B., Sözen M.Ş., Dersliklerde Görsel Konfor ve Etkin Enerji Kullanımı- Bir Örnek Derslik Aydınlatması, Megaron Dergisi, Cilt 1 (2-3), 143-153, 2006.
5. Bailey S., OFFICES, Butterworth Architecture Briefing and Desing Guides, Courier International LTD, London, 1990.
6. TS EN 12464-1, Işık ve Aydınlatma- Çalışma yerlerinin aydınlatılması- Bölüm 1: Kapalı çalışma alanları, TSE, 1. Baskı, Ankara, 2013.
7. Özkaya M., Aydınlatma Tekniği, Birsan Yayınevi, İstanbul, 2004.

CIE S025 STANDARTININ “19NRM02-REVSTDLED” AVRUPA PROJESİ KAPSAMINDA GÜNCELLENMESİ VE TUBITAK UME’NİN ROLÜ

Zühal Alpaslan Kösemen¹, Şenel Yaran¹, Çağrı Kaan Akkan¹, Armin Sperling², Anders Thorset³, Klaus Trampert⁴, Jimmy Dubard⁵, Janne Askola⁶, Joaquin Campos⁷, Olivier Pellegrino⁸, Mykola Huriev⁹, Teresa Molina-Jimenez¹⁰, Steffen Görlich¹¹, Pieterdu Toit¹², Udo Krüger¹³

¹TUBITAK UME Optik Lab, Türkiye, zuhal.kosemen@tubitak.gov.tr

²Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Germany

³Danmarks Tekniske Universitet, Denmark

⁴Karlsruher Institut für Technologie, Germany

⁵Laboratoire national de métrologie et d'essais, France

⁶Aalto-korkeakoulusäätiösr, Finland

⁷Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Spain

⁸Instituto Português da Qualidade, I.P., Portugal

⁹National Scientific Centre Institute of Metrology, Ukraine

¹⁰candelTEC S.L., Spain

¹¹Jeti GmbH, Germany

¹²National Metrology Institute of South Africa, South Africa

¹³TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH, Germany

Tayfsal ve geometrik özellikleri nedeniyle LED tabanlı ışık kaynaklarının uluslararası standart birimlerine (SI-Système international) izlenebilir ölçümleri, geleneksel ışık kaynakları ölçümlerine göre farklı olmalıdır. Mevcut ölçüm yöntemleri ve standartlar, akkor filamanlı ışık kaynakları için geliştirilmiştir. Bu yöntemler LED kaynaklar için kalibrasyon/test laboratuvarlarında uygulandığında değerlerde sapma olmakta ve belirsizlik artmaktadır. LED kaynaklar için izlenebilir ölçüm yöntemlerini içeren standartlar pratik uygulamalar için metrolojik açıdan henüz yeterli değildir. Örneğin imaging luminans ölçümleri, tayfsal ölçümler ve kaynakların yoğunluk dağılımları ölçümleri için belirsizliğin saptanmasında toleranslar henüz belirlenmemiştir. ILMD (imaging luminance measurement devices) cihazını kullanarak LED kaynakların açısız ve uzaysal parlaklık ve ışık şiddeti dağılımlarının saptanması yeni ölçüm yaklaşımlarından biridir. Bu ölçüm tekniğinin izlenebilirliği için strateji geliştirmek ve CIE S 025 standardının revizyonunda belirsizlik ve tolerans aralıklarının saptanmasında kullanılmak üzere bir kılavuz geliştirilmelidir. Bu ihtiyaçlar doğrultusunda Avrupa Birliği destekli 14 ortaklı “19NRM02-RevStdLED Revision and extension of standards for test methods for LED lamps, luminaires and modules” projesi başlatılmıştır.

Anahtar sözcükler: Ölçüm Belirsizliği, LED Kaynaklar, Standartların Revizyonu, EMPIR Projesi

Revision of the CIE S025 Standard within the Scope of the European Project "19NRM02-RevStdLED" and TUBITAK UME's Role

Traceable measurements of LED based light sources according to international standard units (SI-Système international) are difficult compared to conventional light sources due to their spectral and geometric features. Besides, measurement methods and standards available today have been developed for incandescent light sources. When these methods are applied in calibration / test laboratories for LED sources, increased deviations and uncertainties are unavoidable. Although the standards for traceable measurement methods for LED sources are available today, they are not yet fully adequate from the metrological point of view for practical applications. Lack of tolerances for the calculations of uncertainty for imaging luminance measurements, spectral measurements and luminous intensity distributions of LED-based lamps can be given as an example. Determining the angular and spatial luminance and light intensity distributions of LED sources using Imaging Luminance Measurement Devices (ILMD) is one of the new measurement approaches. Due to the reasons given before, a guideline

which shall be used to support traceability and to determine the uncertainty and the tolerances for his new measurement technique has to be published in the revised version of CIE S 025 standard. In this concept, our project entitled as “19NRM02-RevStdLED Revision and extension of standards for test methods for LED lamps, luminaires and modules” had been started with 14 partners and funded by European Union.

Keywords: Measurement Uncertainty, LED Sources, Revision of Standards, EMPIR Project

1. GİRİŞ

19NRM02-RevStdLED Revision and extension of standards for test methods for LED lamps, luminaires and modules” projesi, LED kaynakların ölçüm yöntemlerinin, ölçümler için alt limitlerin belirlenmesi ve ölçüm belirsizliğinin hesaplanması konusunda bir kılavuz oluşturulması amacıyla hazırlanmıştır. Metrolojik izlenebilirlik zinciri boyunca elde edilen verilerin kalibrasyon / test laboratuvarlarında uygun şekilde kullanılarak sektörde doğru şekilde ölçüm yapılması hedeflenmiştir.

Proje kapsamında hedefler şunlardır;

- 1) ILMD'ler kullanılarak yapılan gonyometrik ölçümlerde LED ışık kaynaklarının uzaysal ve açısal olarak parlaklık ve ışık şiddeti dağılımlarının belirlenmesi, değerlendirilmesi, doğrulanması ve izlenebilirliği için bir strateji geliştirilecektir.
- 2) TUBITAK UME'nin lideri olduğu proje paketinde hazırlanacak olan kapsamlı model ile Ulusal metroloji enstitülerinin izlenebilirlik zincirine uygun ölçümleri ile korelasyon değerleri belirlenecektir. Bu çalışmalar kapsamında UME liderliğinde hazırlanacak olan kılavuzda tüm LED kalibrasyon/test laboratuvarlarının kullanabileceği ana belirsizlik etkenlerinin saptandığı ve korelasyon değerlerinin bulunduğu belirsizlik hesaplamalarının Monte Carlo yaklaşımıyla nasıl yapılacağı anlatılacaktır.
- 3) Renkli kaynaklar için tayfsal uyumsuzluk indeksinin (f_1) hesaplanması konusunda yeni yaklaşımlar geliştirilecektir.
- 4) Proje ortakları arasında LED kaynakların ışık şiddetinin uzaysal dağılımlarının ölçüldüğü bir karşılaştırma yapılacaktır.

2. ANA PROJE

2.1 ILMD Kullanılarak İzlenebilir Ölçümler

Projenin başlıca hedeflerinden biri S025:2015 standardının revizyonunda ILMD kullanılarak yapılan ölçümler için ölçüm belirsizliği ve tolerans aralıklarının belirlendiği bir kılavuz hazırlamaktır.

ILMD kalibrasyonları hala günümüzde SI birimlerine bağlı olmak amacıyla spot mode halinde çalıştırılarak yapılmaktadır. Fakat bu cihazlar CCD yada CMOS sensör tabanlı oldukları için bu yöntemle yapılan kalibrasyonlar cihazın ölçüm belirsizliğini saptamak için yetersizdir. Bu amaçla CIE TC2-59 “Characterisation of Imaging Luminance Measuring Devices” komitesi bir teknik rapor hazırlamıştır [2]. Bu rapor cihaz kalibrasyonlarına yöneliktir. Fakat kaynak ölçümlerindeki rolü hala raporlanmamıştır. Projede bu amaçla test laboratuvarlarında ILMD kalibrasyonu için gereken alt koşullar saptanacak, ILMD kalibrasyonları için model ve prosedür geliştirilecek ve ölçümlerde kabul edilebilir tolerans aralıkları saptanacaktır.

2.2 Fotometrik Büyüklükler İçin Tayfsal Korelasyonlar

Fotometri ve Radyometri için kullanılan standartlarda belirsizlik hesaplamalarında tayfsal korelasyonun etkisi ve analizi oldukça karışıktır[3]. Bu yaklaşımlar test laboratuvarları tarafından kullanılmamaktadır. Hatta Ulusal Metroloji Enstitüleri müşterilerine kovaryans matrislerini sağlayamadığı için korelasyon belirsizlik hesaplarına etkisi olamamaktadır.

TÜBİTAK UME Optik Laboratuvarı'nın lider olduğu bu iş paketinde öncelikle metroloji enstitüleri izlenebilirlik zincirinin başlangıcından itibaren tayfsal korelasyon faktörlerini hesaplayarak korelasyon matrislerini sertifikalarında sunacaktır. Test laboratuvarları bu verileri kullanarak kalibrasyonlarında kendi tayfsal dağılımlarına bağlı olarak hesaplama yapabilecektir. TÜBİTAK UME Optik Laboratuvarı'nın düzenleyeceği proje partnerlerinin katılımıyla gerçekleşecek uluslararası karşılaştırmada laboratuvarlar belirsizlik hesaplarını kendi izlenebilirlik zincirleri kapsamında tayfsal değerlere bağlı değişimler yapılacaktır.

Tayfsal verilere bağlı belirsizlik birleşenleri için verilecek kalibrasyon sertifikaları çok miktarda veri içermesi nedeniyle sektörde makine okunabilir veri ihtiyacına yönelik sayısal sertifika ile ilgili çalışmalar yapılacaktır. Bu sayısal SI çalışmaları kapsamında müşteriye sunulacak sertifika için bir veri formatı ve sertifika şeması belirlenecektir.

2.3 Tayfsal Uyumsuzluk İndeksinin Araştırılması

Renkli LED kaynakların ölçümlerinde kullanılmak üzere tayfsal uyumsuzluk parametresi olan f_1 ' in alternatif yöntemlerle hesaplanmasında yeni bir kılavuzun hazırlanması amaçlanmaktadır.

Fotometre başlıklarının tayfsal uyumsuzluk indeksi günümüzde standart olarak A tipi ışık kaynağı karşısında hesaplanmaktadır. Fakat LED ışık kaynaklarının tayfsal dağılımının A tipi kaynaklardan farklı olması büyük ölçüm hatalarına sebep vermektedir. Bu nedenle projede, f_1 ' için alternatif bir genel $V(\lambda)$ tayfsal uyumsuzluk indeksinin standartlara dahil edilmesi için çalışılacaktır. Tayfsal uyumsuzluk değeri hesaplamalarında korelasyon etkileri araştırılarak filtreli sensörlerin belirsizliklerinin saptanması amacıyla bir kılavuz hazırlanacaktır.

3. SONUÇ

Proje kapsamında yapılacak olan belirsizlik hesapları kapsamında yapılacak korelasyon hesapları Monte Carlo yaklaşımı ile incelenecektir. Ulusal Metroloji Enstitüleri öncülüğünde geliştirilecek kılavuzlar, test laboratuvarlarına kullanımına sunulacaktır. Sektör ortaklarının ilgili konuda tecrübelerinin artması amacıyla Fransa ve Türkiye'de kısa kurslar düzenlenecektir. Proje çalışmalarına dair gelişmeler proje web sitesinden ilgililer tarafından takip edilebilir [4].

19NRM02 RevStdLED projesi, Katılımcı Devletler tarafından ortak finanse edilen EMPIR programından ve Avrupa Birliği'nin Horizon 2020 araştırma ve inovasyon programından fon almıştır.

KAYNAKÇA

1. International Commission on Illumination (CIE), Test Method for OLED Luminaires and OLED Light Sources, CIE S 025-SP1/E:2019, <https://cie.co.at/publications/test-method-led-lamps-led-luminaires-and-led-modules>, 2019.
2. International Commission on Illumination (CIE), Characterization Of Imaging Luminance Measurement Devices (ILMDS), CIE 244:2021, <https://cie.co.at/publications/characterization-imaging-luminance-measurement-devices-ilmds>, 2021.
3. International Commission on Illumination (CIE), Determination Of Measurement Uncertainties In Photometry Supplement 2: Spectral Measurements And Derivative Quantities, CIE 198-SP2:2018, <https://cie.co.at/publications/determination-measurement-uncertainties-photometry-supplement-2-spectral-measurements>
4. <https://www.ptb.de/empir2020/revstdled/home/>

ÇEVREDEN ALINAN IŞIĞIN ÖZGÜN ETKİSİ: PLAZMONİK RENKLER

Kazım Hilmi Or¹

¹ Private Office of Ophthalmology. Hamburg. Germany. hilmi.or@gmail.com

Plazmonik renkler nanoteknoloji sayesinde son on yıllarda yoğun kullanılmaya başlanmıştır. Plazmonik renklerin dayandığı yüzey plazmon rezonansı, metallerde elektronlarının üzerlerine gelen ışıkla uyarılmaları ile negatif ve pozitif geçirgenlik malzemesi arasındaki arayüzde oluşan rezonanz salınımıdır. Plazmonik renkler bin yılı aşkın süredir vitray olarak kullanılmaktadır. Vitrayda, gelen ışığın bazı dalga boylarını bloke etmek için bazı metalik tuzlar kullanılır. Dolayısıyla renk pigmentler olmadan "oluşturulur". Nanoteknolojik filtrelerle yapılan bir mühendislik olup, ışığın soğurulması ve saçılmasıdır. Günümüzde yazılım ve nanoteknolojinin üst düzeyde kullanımı ile çok farklı amaçlar için renk üretiminde kullanılabilmektedir. Geleneksel renk, ışık ışınları veya doğrudan boyalarla oluşturulur. Plazmonik renkler ise, metalik atomlar veya parçacıklar tarafından ışık kaynağından veya çevrede mevcut ışıktan "üretilir". Parçacıkların boyutları ve birbirine olan uzaklıkları hangi rengin oluşacağını belirler. Plasmonik renklerin metamalzemeler ve/veya 2D malzemelerle birlikte kullanılması insan hayatı için yeni ufuklar açmaktadır. Plazmonik renkleri oluşturmak için düşük enerji gerekmesi ve sonrasında atık pigmentlerin olmaması, bu yöntemi çevre dostu da yapmaktadır.

Anahtar kelimeler: Çevresel Işık, Nanoteknoloji, Plazmonik Renkler.

The Unique Effect of the Light Received from the Environment: Plasmonic Colors

Plasmonic colors have been used extensively in recent decades thanks to nanotechnology. Surface plasmon resonance, on which plasmonic colors are based, is the resonance oscillation that occurs at the interface between the negative and positive permeability material, with the excitation of electrons in metals by light on them. Plasmonic colors have been used as stained glass for over a thousand years. In stained glass, some metallic salts are used to block some wavelengths of incoming light. So the color is "created" without pigments. It is an engineering done with nanotechnological filters, absorption and scattering of light. Today, it can be used in color production for many different purposes with the use of software and nanotechnology at a high level. Traditional color is created by rays of light or direct dyes. Plasmonic colors, on the other hand, are "produced" by metallic atoms or particles from the light source or the light present in the environment. The size of the particles and their distance from each other determine which color will be formed. The use of plasmonic colors with metamaterials and/or 2D materials opens new horizons for human life. The low energy requirement to create plasmonic colors and the absence of waste pigments make this method environmentally friendly as well.

Keywords: Light from Environment, Nanotechnology, Plasmonic Colours

1. GİRİŞ

Renk, bir malzemenin özelliği değil, üzerine gelen ışığın ve yüzey özelliklerinin filtre efektleriyle birleşen özelliğidir. Klasik olarak renk ışığın içinde vardır. Işık kendisi normalde direkt görülememesine rağmen, ışığı düştüğü yerde absorbe olunan elektromanyetik dalga boylarından sonra geri yansıyan elektromanyetik dalga kısmı görülebilir. Doğal ışık kaynağı olarak güneş, yapay ışık kaynakları olarak da lambalar genelde içine direkt (aksi taktirde gözde tıbbi hasarlar oluşabileceği için) bakılamayacak seviyede yüksek aydınlatma verilerine sahiptir. Son on yıllarda oluşan ekran teknolojileri ile ekrandaki pikseller birer ışık kaynağı olarak gözümüze ışığı direkt ulaştırırlar. Işık kaynağı olarak gözde hasar oluşturabilecek seviyede

olmadıkları için, ekranda ışığın renkleri direkt olarak algılanabilir. Bir yüzeyden üzerine düşen ışığın içinde olmayan dalga boyları yansıyamaz. Pigment renk görmesi bir materyalin yüzeyinden yansıyabilecek olan dalga boylarının önceden belli olduğu boyalara dayanır. Her iki renk görme modalitesi birbirine zıt özellikler de içerir. Sonuç beyindeki algıya bağlıdır. Yaşamda eş zamanlı, arka arkaya ve sürekli olarak her iki klasik renk görme algı şekli mevcuttur. Bu klasik tanımı ile renk doğada vardır, teknolojiye ve sanatta genelde farklı tanımlamalar ile binlerce yıldır kullanılmaktadır, kullanılmaya da devam edilmektedir.

Optik olarak nedeni tam bilinmeden kullanılmış olan bazı filtrelerin optik etkileri son yıllarda anlaşılmaya başlanmıştır. Bunlardan biri olan plazmonik yüzeyler ve plazmonik renkler; nanoteknoloji sayesinde doğadaki ve kadim uygulama bilgilerindeki -daha önce pigment görmesine bağlı olduğu düşünülen- farklı renk oluşumlarının nedeni bulunarak son on yıllarda çeşitli teknolojik ve endüstriyel üretim konusunda inovatif olarak yoğun kullanılmaya başlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

Plazmonik renkler yüzey plazmon rezonansına dayanır. Yüzey plazmon rezonansı, metallerde veya fotonik kristallerde iletim ışığı elektronlarının üzerlerine gelen ışıkla uyarılmaları ile oluşan, negatif ve pozitif geçirgenlik malzemesi arasındaki arayüzde oluşan rezonanz salınımıdır. Böylece pigment olmadan ve ayrıca ek bir ışık kaynağı gerekmeden renkler oluşturulabilir. Doğada da olan bu oluşumun nanoteknolojik olarak kullanımı ve geleceğe olası yansımaları örnekler eşliğinde incelenmiştir.

3. BULGULAR

Plazmonik renkler bir çeşit filtre rengidir, ancak boya filtrelerinden farklıdır. Plazmonik nanopartiküller metalik materyallerdir. Dolayısıyla, plazma adı verilen elektron bulutları oluşturan fiziksel olarak serbest elektronları vardır. Yüzey plazmonik rezonansının sağlandığı bir aşamaya gelebilirler [3]. Belirli dalga boyları tarafından uyarılırlarsa, ışık absorpsiyonlarını ve saçılmalarını 40 kata kadar artırabilirler. Plazmonik nanopartiküllerin partikül boyutlarının çok küçük olması önemlidir. Plazmonların parçacık boyutunda değişiklik yapıldığında, başka bir malzemeye ihtiyaç duymadan başka bir renk "üretebilirler". Bu, yeni renkler için yeni malzemelere ihtiyaç duyulan pigment renklerinden farklıdır. Plazmonların metalik nanopartiküller teknolojisi, bin yıldan uzun bir süredir vitraylarda kullanılmaktadır. Vitrayların cam kısmının içinde farklı boyutlarda metalik tuz parçacıkları bulunmaktadır. Dolayısıyla renk pigmentler olmadan "oluşturulur". Nanoteknolojik filtrelerle yapılan bir mühendislik olup, ışığın soğurulması ve saçılmasıdır.

Hem plazmonik hem de fotonik malzemeler, yapısal olarak tanımlanmış optik özelliklerle ışığı manipüle eder. Fotonik mimariler, ışığın belirli dalga boylarındaki saçılımını ve yansımalarını destekleyebilirken, plazmonik materyaller, ışığı nano ölçekte sınırlayan plazmon rezonanslarına sahiptir. Fotonik malzemelerin plazmon rezonanslarına bağlanması, dalga boyuna bağlı girişim ve hapsedme özellikleri yoluyla plazmonik yanıtı iyileştirebilir. Palmer ve ark. kelebek kanatlarında bulunan dalga boyuna bağlı, doğal olarak bol fotonik kristal yapıların kullanımını araştırmıştır [4]. Doğada birçok şekilde var olan plazmonik renkler likit kristal olan kelebek kanatlarının rengi ile kombine edildiğinde optik açıdan çok daha az problemi olan bir kompozit oluşturulmuştur [5]. Son on yıl içinde bu özelliğin sadece kelebek kanatlarında olmadığı, daha önce pigmentsel bir özellik olduğu düşünülen bukalemunun renk değiştirmesinin derisinin altındaki -kelebeğe benzer- fotonik kristallerin aralarındaki

uzaklıkların değişmesi ile çevre ışığını kullanarak farklı renkler oluşturduğu tespit edilmiştir [6].

Plazmonik renkler günümüzde yazılım ve nanoteknolojinin üst düzeyde kullanımı ile çok farklı amaçlar ile renk üretimleri için kullanılabilir. Çevreden gelen ışığı kullandıkları için yüksek derecede enerji gerektiren LED ekranlar yerine çevre ışığını kullanan bir yöntem olarak plazmonik renklerle ekran renklerinin oluşturulması bir yakın gelecek teknolojisi olarak görülebilir. Diğer taraftan yüzey plazmon rezonans sistemli biyosensörler düşük enerji gereksinimleri gereği kullanıma girmektedirler.

Plazmonik teknoloji artık nanoteknolojik olarak çok sofistike şekillerde kullanılmaktadır, çünkü geleneksel renklendirmeden veya boyalarla renk değiştirmeden farklıdır. Üretim teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde plazmonik parçacıkların plastiklere, boyalara, kaplamalara, kompozitlere ve diğer malzemelere dahil edilmesini mümkün olmuştur. Plazmonik nanopartiküllerin başka bir avantajı da, boya renklerinde mümkün olmayan, aynı malzemeden partikül boyutuna bağlı olarak diğer dalga boylarına (yani diğer renklere) sahip renk değişikliklerine sahip olmasıdır. Aynı materyalden oluşan farklı boyutlarda ve birbirinden farklı uzaklıklarda yerleştirilmiş (ya da aralıkları istenilen uzaklığa değiştirilebilen) partiküller kullanarak, tek bir materyal ile eş zamanlı ya da ardışık farklı dalga boylarında elektromanyetik dalgalar (renkler) üretilebilmektedir [7, 8].

Rengi değiştirdikleri plazmonik nanoparçacıkların boyutu önemli değişiklikler sağlamaktadır. Plazmonik yapılar ultra incedir, dolayısıyla uzaysal çözünürlükleri kırınım limitinin ötesindedir. Bu önemlidir, çünkü plazmonik renklerde boya renkleri kullanmaya göre çok daha az optik problem oluşur. Pigment filtrelerinin bu avantajı yoktur. Franklin plazmonik parçacıkları ekranlarda da renk oluşturma için kullanmıştır. Plazmonik renklerin doğrudan ışık kaynaklarında da renk filtreleri olarak kullanılabilirliğini göstermiştir. Sadece parçacık boyutunu değiştirmek, ekrandan yayılan ışığın rengini de değiştirmektedir [9]. Plazmonik renklerle baskı da yapılabilir. Nano ölçekli plazmonik yapılar tarafından yapısal renk üretimi, rengi solmayan renkli baskı, sahteciliğe karşı önlemler ve dekorasyon uygulamaları için büyük ilgi görmektedir. Tek tip bir ince polimer film ile metalik bir geri yansıtıcıdan ayrılan metalik nanodisklerden oluşan iki metal bir plazmonik nanoyapının fiziği ve yansımada canlı yapısal renk potansiyeli araştırılmıştır. Nano yapılar içinde ışık yakalamanın renk üretimi için birincil mekanizma olduğunu gösterilmiştir. Düzlemsel geri yansıtıcı ve polimer katmanlarının kullanımı, daha az karmaşık üretim gereksinimlerine ve sağlam yapılara, ancak en önemlisi, arka yansıtıcı ve nano diskler için iki farklı metalin kolayca dahil edilmesine izin vermektedir [10].

Plazmonik renklerin, geleneksel malzemelerle veya 2 boyutlu malzemelerle elde edilemeyen özelliklere sahip metamalzemelerle birleşimi, nanoteknoloji, yeni cihazlar için oyun değiştirici tekniklere sahiptir. 2D malzemeler ve metamalzemeler ile, cam veya plastik lensler yerine çok ince (hatta bir atom kalınlığında) metalensler, örneğin cep telefonlarında sofistike fotoğraflar çekebilen küçük kameralarda kullanılabilirliğini mümkün kılmıştır. Bu tekniklerin plazmonik renklerle kombinasyonu, normalde yüksek hacimli olan bilimsel ışık mikroskoplarının görüntü kalitesini artırırken hacmini küçültebilir. Metalenslerin avantajlarından biri bir avantajı, birçok optik aberasyonu da içermediği için, renk sapması oluşturmamasıdır. Kırınım içermeyen plazmonik renklerin kombinasyonu ile çok daha kaliteli, aberasyonu geleneksel sistemlerden çok daha az olan görüntüleme sistemleri oluşturulabilir. Çevre ışığı kullanıldığı için aydınlatma için ayrı bir teknoloji uygulanmasını gerektirebilir. Farklı avantajlar içeren bu teknolojilerin kombine ve eş zamanlı kullanımı ile, geleneksel olanlardan daha avantajlı olacak birçok yeni cihazda kullanılabilir.

Plazmonik renklerin olumlu yönlerinden biri, oluşturmak için diğer renk oluşturma yöntemlerine göre daha az enerji gerektirmesidir. Diğer taraftan plazmonik renk oluşturan materyaller -kendileri pigment olmadığı için- kullanımları sırasında ve sonrasında- atık pigmentler ya da pigment atıkları oluşturmaz. Boyalar çevre için toksiktir. Plazmonik malzemeler ise geri dönüştürülebilir veya biyolojik olarak parçalanabilir özelliktedir. Doğal olarak plazmonik renk oluşmak için çevrelerindeki mevcut ışığı kullanırlar. Üzerine yapay olarak düşen ışık ile de renk oluşturabilirler. Çevredeki ışığın renk oluşumu için yetebilmesi diğer renk oluşumları için gereken ekstra ışık kaynağı gereksinimi ortadan kaldırabilmekte ya da azaltabilmektedir. Bu üç olumlu yön plazmonik renkleri çevre dostu da yapmaktadır.

4. SONUÇ

Plazmonik renklerin geleneksel renk üretiminden farkını anlamak için disiplinlerarası bir yaklaşım gerekmektedir. Geleneksel renk, ışık ışınları (çoğunlukla geleneksel renk filtreleri ile kullanılır) veya doğrudan boyalarla (ışığın boyalar üzerine yansımaları olarak veya ışık kaynaklarının önünde kullanılan filtreler olarak) oluşturulur. Plazmonik renkler ise, metalik atomlar veya parçacıklar tarafından ışık kaynağından ya da çevrede mevcut ışıktan "üretilir". Parçacıkların boyutları ve birbirine uzaklıkları hangi rengin oluşacağını belirler. Bu özellikleri ile plazmonik renkler, renk endüstrisinde ve nanoteknolojide geleneksel bilgileri değiştirmektedir. Işıklı (ve pigment filtreleri) veya doğrudan boyalarla oluşan geleneksel renk algısından farklıdır. Plasmonik renklerin metalmalzemeler ve / veya 2D malzemelerle birlikte kullanılması insan hayatı için yeni ufuklar açmaktadır.

KAYNAKÇA

1. Luo MR, Encyclopedia of Color Science and Technology. NewYork. Springer, 2016.
2. Or KH. Renk görmesi normal olan tanıkların, farklı renksel özelliklerdeki yapay ışık kaynakları ile aydınlatılmış nesne renklerini algılamaları. Doktora Tezi. İstanbul Üniversitesi Adli Tıp Enstitüsü, İstanbul, 2017.
3. Trügler A., Optical Properties of Metallic Nanoparticles. Springer, 2016.
4. Palmer, L. D.; Brooks, J. L.; Frontiera, R. R. Probing the Coupling of Butterfly Wing Photonic Crystals to Plasmon Resonances 5. with Surface-Enhanced Raman Spectroscopy. J. Mater. Chem. C, 7, 13887–13895, 2019.
5. Lee T, Jang J, Jeong H, Rho J. Plasmonic- and dielectric-based structural coloring: from fundamentals to practical applications. Nano Converg, 5(1):1, 2018.
6. Teyssier J, Saenko SV, van der Marel D, Milinkovitch MC. Photonic crystals cause active colour change in chameleons. Nat Commun, 6:6368, 2015.
7. Greybush NJ, Charipar K, Geldmeier JA, Bauman SJ, Johns P, Naciri J, Charipar N, Park K, Vaia RA, Fontana J. Dynamic Plasmonic Pixels. ACS Nano. 23;13(4):3875-3883, Apr 2019.
8. Jung Y, Jung H, Choi H, Lee H. Polarization Selective Color Filter Based on Plasmonic Nanograting Embedded Etalon Structures. Nano Lett. 9;20(9):6344-6350, Sep 2020.
9. Franklin D, He Z, Mastranzo Ortega P, Safaei A, Cencillo-Abad P, Wu S, and Chanda D. 2020. Self-assembled plasmonics for angle-independent structural color displays with actively addressed black states. PNAS, 117 (24) :13350-13358, June 16, 2020.
10. Wilson K, Marocico CA, Pedrueza-Villalmanzo E, Smith C, Hrelescu C, Bradley AL. Plasmonic Colour Printing by Light Trapping in Two-Metal Nanostructures. Nanomaterials (Basel), 1;9(7):963, Jul 2019.

BİNALARDA GÜNIŞIĞI ETKİNLİĞİNE BAĞLI AYDINLATMA ENERJİ GEREKSİNİMİNİN BELİRLENMESİ: TS EN 15193-1:2017 VE İKLİME DAYALI GÜNIŞIĞI MODELİ

Zehra Aybike Kılıç¹, Elif Ranaer Harputluoğlu², Alpin Köknel Yener³

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, kiliyce@itu.edu.tr

² İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, ranaer@itu.edu.tr

³ İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, yener@itu.edu.tr

Enerji etkin bir aydınlatma tasarımının gerçekleştirilmesi için binalarda günışığı etkinliğine bağlı aydınlatma enerji gereksiniminin doğru bir şekilde belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu doğrultuda yapılan çalışma kapsamında binalarda günışığı etkinliğinin ve buna bağlı olarak aydınlatma enerji gereksiniminin çeşitli tasarım parametreleri üzerinden iki farklı hesaplama yöntemi aracılığı ile ortaya konması amaçlanmıştır. İstanbul'da yer aldığı kabul edilen iki kişilik çalışma mekanının günışığı performansı ve aydınlatma enerji gereksiniminin belirlenmesinin hedeflendiği çalışmada Climate Studio simülasyon aracı kullanılarak iklime dayalı değerlendirme yöntemlerinden Günışığı Otonomisi (DA) ölçütü ve TS EN 15193-1:2017 standardı kapsamında tanımlanan hesaplama yöntemi ele alınmıştır. Çalışmanın sonucunda, iç mekân günışığı etkinliğine bağlı olarak aydınlatma enerji gereksiniminin belirlenmesinde tercih edilen hesaplama yöntemlerinin karşılaştırmalı analizi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Günışığı Etkinliği, Aydınlatma Enerji Gereksinimi, TS EN 15193-1:2017, Günışığı Faktörü, Günışığı Otonomisi.

Estimation of Lighting Energy Requirements Based on Daylight Availability with Different Methods: TS EN 15193-1:2017 and Climate Based Daylight Modelling

Reducing lighting energy consumption depending on the daylight availability in the spaces constitutes the most important part of designing an energy-efficient lighting system. Estimating the lighting energy saving depending on the daylight availability is crucial to provide an energy-efficient lighting system by designing the optimal daylighting system. In line with this, the study aims to determine lighting energy requirements depending on the daylight availability through two different calculation methods considering various daylighting design parameters. The office space for two people located in Istanbul is investigated to determine daylight performance and lighting energy requirements by using the Climate Studio tool and the calculation method defined within the scope of the TS EN 15193-1:2017. As a result of the study, two different methods have been compared in terms of discrepancies and similarities. Furthermore the effect of the daylighting design parameters on the daylight performance, therefore the lighting energy requirements have been analyzed.

Keywords: Daylight Availability, Lighting Energy Consumption, TS EN 15193-1:2017, Daylight Factor, Daylight Autonomy

1. GİRİŞ

Günümüzde enerji taleplerinin artması ile birlikte gerçekleşen kontrolsüz enerji harcamaları, hem enerji kaynaklarının tükenmesine hem de çeşitli çevresel sorunlara neden olmaktadır. Binalar toplam enerji tüketiminin ve enerji tüketimi sonucu meydana gelen CO₂ salınımının en büyük paydaşlarından biridir. Binalarda gerçekleşen toplam enerji tüketiminin önemli bir bölümünü ise görsel konfor koşullarının sağlanması amacıyla harcanan aydınlatma enerjisi

oluşturmaktadır. Aydınlatmaya yönelik enerji tüketimi, aynı zamanda dünya genelinde toplam elektrik enerjisi tüketiminin %19'unu oluşturarak yapma çevrenin CO₂ salınımında önemli bir paya sahiptir [1]. Bu bağlamda binalarda aydınlatma amaçlı enerji tüketimini azaltmak ve sağlıklı bir görsel çevre yaratmak günümüzde sürdürülebilir, enerji etkin ve konforlu mekânlar oluşturmak adına en önemli hedeflerden birisidir.

Aydınlatma enerji tüketiminin minimize edilerek enerji etkinliğinin artırılması, yapma aydınlatma sisteminin kuruluş yükünün azaltılması ile birlikte iç mekan günışığı etkinliğinin çeşitli tasarım kararları ile artırılarak gün içerisinde yapma aydınlatma sisteminin kullanım süresinin azaltılmasına bağlıdır. Sürdürülebilir binaların tasarlanması ve mevcut binaların bu doğrultuda yenilenmesi amacı ile binalarda günışığı etkinliğinin doğru bir şekilde belirlenerek aydınlatma enerji gereksiniminin tahmin edilmesi, binaların aydınlatma enerji performansının değerlendirilmesi bakımından oldukça önemlidir. Bu bağlamda yapılan çalışmada iki kişilik çalışma mekanında günışığı etkinliğine bağlı olarak aydınlatma enerji gereksiniminin iki farklı hesaplama yöntemi aracılığı ile belirlenmesi sonucu, hesaplama yöntemlerinin karşılaştırmalı analizinin yapılması ve TS EN 15193-1:2017 standardı kapsamında tanımlanan hesap yönteminin duyarlılığının irdelenmesi amaçlanmaktadır.

2. GÜNIŞIĞI ETKİNLİĞİNE BAĞLI AYDINLATMA ENERJİ GEREKSİNİMİNİN BELİRLENMESİNE İLİŞKİN YÖNTEMLER

Günışığı performansına bağlı aydınlatma enerji korunumunun belirlenmesine yönelik literatürde ölçüm yöntemleri, simülasyon ile hesaplamalar, matematiksel formüller ve enerji tüketiminin tahmin edilmesine yönelik çeşitli algoritmalar olmak üzere dört farklı yaklaşım geliştirilmiştir [2]. Bunlardan günümüzde bina enerji performansının tespit edilmesine yönelik çeşitli standartlar kapsamında tanımlanan matematiksel hesaplamalar ve gelişen teknoloji ile birlikte günışığının dinamik karakterini ele alan simülasyon programları ile hesaplamalar ön plana çıkmaktadır. Çalışma kapsamında ifade edilen yöntemler içerisinde iç mekan günışığı performansına dayalı aydınlatma enerji gereksiniminin belirlenmesi amacıyla TS EN 15193-1 standardı kapsamında geliştirilen hesap yöntemi ve iklime bağlı değerlendirme ölçütlerine ilişkin sonuçlar sunan *Climate Studio* programı aracılığıyla simülasyon yöntemi değerlendirilmektedir.

2.1 Analitik Hesaplama Yöntemi; TS EN 15193-1 Binalardaki Enerji Performansı- Aydınlatma İle İlgili Enerji Gerekliliği

TS EN 15193-1:2017 standardı, binalarda aydınlatma enerji performansını belirlemek amacıyla analitik bir hesaplama yöntemi önermektedir [3]. 2017 yılında yayınlanan güncel versiyonu ile standart, binaların aydınlatma enerji gereksinimini yapma aydınlatma sisteminin kurulu gücüne ve doğal aydınlatma sistemi tasarımına bağlı olarak mekanda sağlanan günışığı etkinliğine göre belirlenmesine imkan sağlamaktadır. TS EN 15193-1 kapsamında tanımlanan hesaplama yöntemine göre bir binada ele alınan herhangi bir hacim veya bölümde aydınlatma amacıyla tüketilen yıllık enerji miktarı Eşitlik 1'de verilen formül uyarınca belirlenmektedir.

$$W_{L,t} = \{ (P_n \times F_c) \times [(t_D \times F_o \times F_D) + (t_N \times F_o)] \} / 1000 \text{ (kWh)} \quad (1)$$

W_{L,t} : Yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimi (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, *t_N* : Gün saatleri dışında kullanım (h)

TS EN 15193-1 standardı kapsamında yapma aydınlatma enerji gereksiniminin belirlenmesinde iklim, yönlenme ve hareketli güneş kontrol elemanı varlığının hesaplamalara dahil edilmesi ile iç mekanda günışığı etkinliği gerçekçi ve detaylı bir şekilde belirlenebilmektedir. İlgili hesap yöntemine göre iç mekan günışığı etkinliğinin aydınlatma enerji performansına etkisi, hacimlerin günışığından yararlanması durumunda gün saatleri içinde aydınlatma enerjisi gereksiniminde gerçekleşebilecek olan azalmayı tanımlayan ve Eşitlik 2’de ifade edilen Günışığı Bağımlılık Faktörü (F_D) ile değerlendirilmektedir. Bu yöntemde mevcut günışığının aydınlatma enerjisi gereksinimi üzerindeki etkisi, hacimlerde günışığından yararlanan bölgeye bağlı olarak belirlenen Günışığı sağlama faktörü ($F_{D,S}$) ve otomatik kontrol sistemlerinin yapma aydınlatma enerji korunumuna etkisini Belirleyen Günışığına Bağlı Yapma Aydınlatma Kontrolü Çarpanına ($F_{D,C}$) bağlı olarak hesaplamalara dahil edilmektedir.

$$F_D = 1 - (F_{D,S} \times F_{D,C}) \quad (2)$$

Günışığı sağlama faktörü ($F_{D,S}$) dış engeller, cephe, hacim ve pencere özelliklerine bağlı olarak belirlenen Günışığı Faktörü’ne (D_{ca}) göre hacim içerisindeki günışığı etkinliğini değerlendirmektedir. İkinci aşamada iklim (H_{dir}/H_{glob}), yönlenme ve hareketli gölgeleme elemanı kullanımına bağlı olarak doğal aydınlatma sistemi tasarımının aydınlatma enerji gereksinimine etkisi belirlenmektedir. Yapma aydınlatma kontrol sisteminin sağlayacağı enerji tasarrufu potansiyelini hesaplayan $F_{D,C}$ değeri ise yapma aydınlatma kontrol sisteminin manuel veya otomatik olması durumuna ve hacmin günışığı sınıfına bağlı olarak hesaplamalara dahil edilmektedir.

2.2 İklim Dayalı Günışığı Değerlendirme Modeli; *Climate Studio*

Simülasyon programları, iklime dayalı günışığı değerlendirme yöntemleri aracılığı ile detaylı ve gerçekçi sonuçların ortaya konulmasına, bu sayede günışığı performansına dayalı aydınlatma enerji korunumuna ilişkin doğru stratejilerin geliştirilmesine imkân sağlayabilmektedir. İklim dayalı değerlendirme yöntemleri, güneş ışıınımı ile birlikte günışığının mevsimsel ve günlük karakterini ve miktarını dikkate alması nedeniyle daha doğru verilerin elde edilmesini sağlayarak binalarda günışığı etkinliğinin gerçeğe yakın bir biçimde belirlenmesini olanaklı hale getirmektedirler [4].

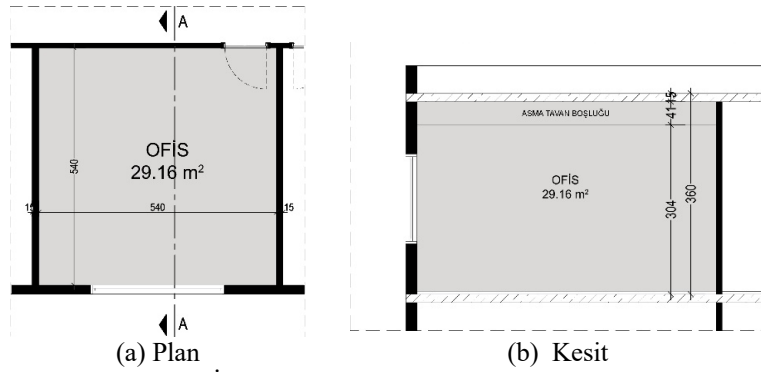
İç mekan günışığı performansının değerlendirilmesi amacıyla son dönemde geliştirilen simülasyon programlarından biri 2020 yılında DIVA for Rhino programının bina enerji tüketiminin hesaplanmasına imkan sağlayan Energy Plus hesap motorunun eklenmesi ile geliştirilmiş bir versiyonu olarak Solemma firması tarafında çıkarılan Climate Studio (CS) aracıdır [5]. Bina ve yerleşim ölçeğinde günışığı ve enerji modelinin geliştirilmesine ve analiz edilmesine olanak sağlayan simülasyon programı, Rhinoceros ve Grasshopper programlarının eklentisi olarak iki farklı şekilde kullanılabilmektedir. İç mekan günışığı performansını belirlemek amacıyla Radiance programına ait hesap yöntemini temel alan program; ısıtma, soğutma, aydınlatma enerji gereksiniminin hesaplanmasına yönelik Energy Plus hesap motorunu kullanmaktadır. CS programı Günışığı Faktörü (DF), Günışığı Otonomisi (DA), Mekansal Günışığı Otonomisi (sDA), Faydalı Günışığı Aydınlanlığı (UDI), Yıllık Günışığı Maruziyeti (ASE) ve Yıllık Kamaşma Olasılığı (DGP) günışığı değerlendirme ölçütleri aracılığı ile mekanın günışığı performansının belirlenmesine yönelik sonuçları ortaya koyarken, aynı zamanda Energy Plus hesaplama motoru ile günışığı performansına dayalı yıllık aydınlatma enerji gereksinimini belirlemektedir.

3. TS EN 15193-1:2017 ve İKLİME DAYALI GÜNEŞİĞİ MODELİ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Çalışmanın bu bölümünde ele alınan ofis mekanı tanımlanmış olup, çalışma kapsamında ele alınan farklı hesaplama yöntemlerinin statik (DF) ve dinamik (DA/F_{D,S}) ölçütler aracılığı ile iç mekan güneşi etkinliğinin ve aydınlatma enerji gereksiniminin belirlenmesine yönelik karşılaştırmalı analizi gerçekleştirilmiştir.

3.1 Çalışma Mekânının Tanıtılması ve Senaryoların Oluşturulması

Çalışmada güneşi etkinliğine bağlı olarak hesaplama yöntemlerinin irdelenmesi amacıyla İstanbul’da yer aldığı düşünülen iki kişilik bir çalışma mekanı ele alınmaktadır. Boyutları 5.40 x 5.30 x 3.6 m olarak belirlenen çalışma mekanının tek bir yanıl açıklığa sahip olduğu varsayılmaktadır. Mekana ait iç yüzey ışık yansıtma katsayıları, TS EN 12464-1 standardında önerilen aralıklarda olacak şekilde duvar, tavan ve zemin için sırasıyla %63, %82 ve %20 olarak kabul edilmektedir. Şekil 1’de ele alınan çalışma mekânına ait plan ve kesit verilmektedir.



Şekil 1. İki kişilik çalışma mekanına ait plan ve kesit

Herhangi bir dış engelin olmadığı varsayılan ofis mekânına ait senaryolar mekanın doğal aydınlatma sistemine ilişkin saydamlık oranı (SO), cam türü ve güneş kontrol elemanı tasarım değişkenlerine bağlı olarak geliştirilmiştir. Geliştirilen senaryoların üç farklı yön için (Güney S01-12, Doğu S13-S24, Batı S25-S36) irdelenmesi sonucu toplamda 36 farklı senaryo elde edilmiştir. Ele alınan doğal aydınlatma sistemi tasarım değişkenleri ve değişkenlere ait senaryolar kapsamında yapılan kabuller Tablo 1’de tanımlanmıştır. Oluşturulan senaryolarda pencerelerin duvarın orta aksında yer aldığı kabul edilmiştir. Pencerelele ait doğrama çarpanı hesaplamalarda sabit tutulmuştur.

Tablo 1. Çalışma kapsamında Güney yön için oluşturulan senaryolar ve senaryolara ilişkin kabuller.

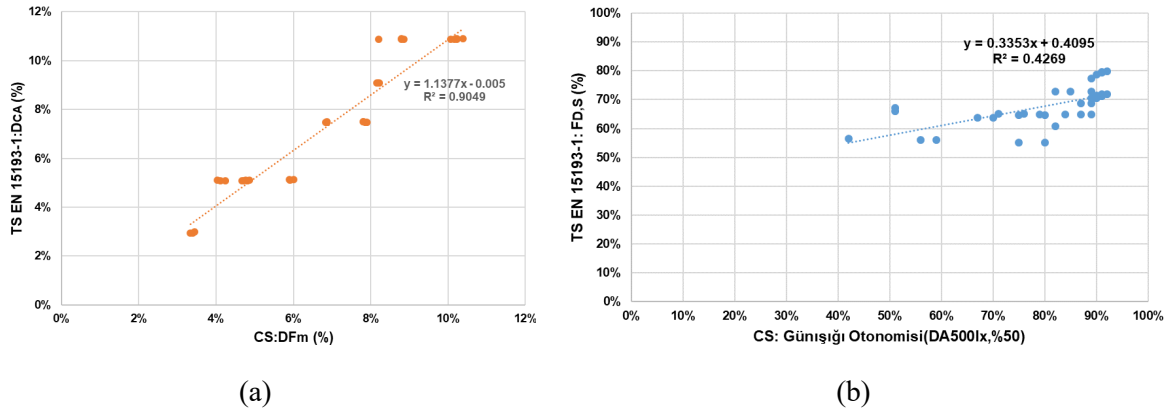
Senaryo	D.A.S Tasarım Değişkeni	Kabuller
S01,S02,S03	Açıklık Boyutu	Saydamlık Oranı(%30-%60-%90)
S04,S05,S06	Cam Türü	Düz Cam(Tvis:%80) / Low-E Cam(Tvis:%69)
S07,S08,S09	Sabit Güneş Kontrol Elemanı	Yatak Saçak (En:0.60 m, Işık Yansıtma Katsayısı:%50)
S10,S11,S12	Otomatik Güneş Kontrol Elemanı	Jaluzi (Tvis:%8.12)

Çalışma mekânının yapma aydınlatma sistemine ait kurulu güç değeri 6.4 W/m² kabul edilmiştir [6]. Mekânın hafta içi 09.00-18.00 saatleri arasında kullanıldığı kabul edilerek, yıllık kullanım saati hem TS EN 15193-1 standardında tanımlanan hesap yöntemi hem de CS simülasyon programı için t_N: 250 sa, t_D:2250 sa olmak üzere toplam 2500 sa olarak kabul edilmiştir. Analitik hesap yöntemi için mekanın kullanım oranını ifade eden Fa değeri çalışma mekanları için 0.4 olarak hesaplamalara dahil edilmiştir. Diğer yandan çalışma mekanının

iklime bağılı güneşliği etkinliğinin değerlendirilmesi amacıyla İstanbul ili için TMY iklim verisi simülasyon programına tanımlanmış olup, TS EN 15193-1 standardı kapsamında İstanbul için H_{dir}/H_{glob} değeri aynı iklim verisinden 0.505 olarak belirlenmiştir.

3.2 Çalışma Mekanına Ait Güneşliği Etkinliğinin Hesaplama Yöntemi ve İklimle Dayalı Güneşliği Modeli Aracılığı ile Belirlenmesi

Ele alınan ofis mekanının güneşliği etkinliği, Güneşliği Faktörü (DF) yöntemi ve iklimle bağılı güneşliği değerlendirme ölçütleri (D_A & $F_{D,S}$) kullanılarak iki farklı hesaplama yöntemi aracılığı ile ortaya konmuştur. Değerlendirmelerde TS EN 15193-1 standardı kapsamında pencere açıklığına bağılı hesaplanan Güneşliği Faktörü değeri (D_{CA}), Ortalama Güneşliği Faktörü (DF_m) değeri ile karşılaştırılmıştır [3]. Elde edilen sonuçlara göre, Şekil 2a'da iki farklı yöntem ile belirlenen D_{CA} ve DF_m değerlerinin yüksek oranda benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. ($R^2=0.9049$). Ancak analitik hesaplama yönteminin simülasyon yöntemine göre ofis mekanına ait güneşliği etkinliğini daha yüksek düzeyde tahmin ettiği tespit edilmiştir.



Şekil 2. TS EN hesaplama yöntemi ve CS programı ile çalışma mekanının güneşliği etkinliğinin belirlenmesine yönelik benzerlik analizleri; (a) DF_m - D_{CA} korelasyon grafiği, (b) $F_{D,S}$ - D_A korelasyon grafiği

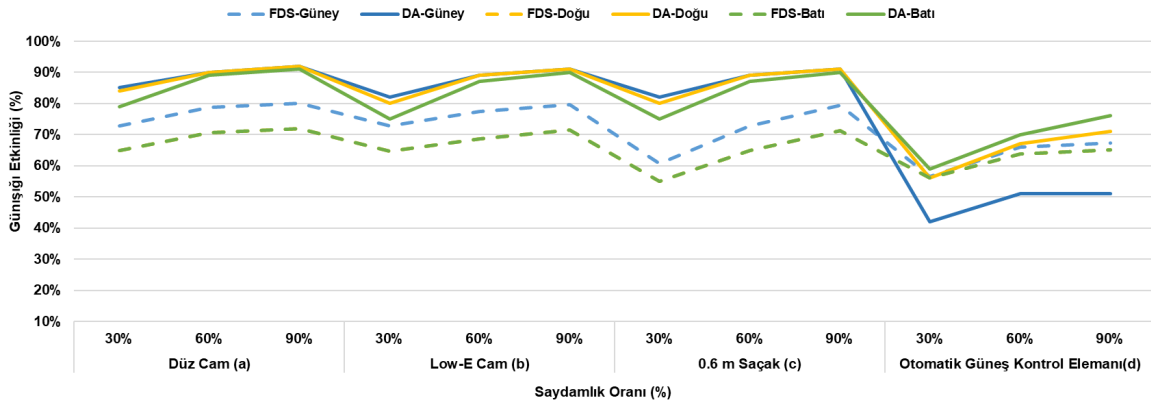
Ofis mekânının güneşliği etkinliği aynı zamanda iklimle dayalı güneşliği değerlendirme yöntemlerinden biri olan Güneşliği Otonomisi (D_A) ve TS EN 15193-1 standardında tanımlanan hesap yöntemi gereği Güneşliği Sağlama Faktörüne ($F_{D,S}$) bağılı olarak ortaya konmuştur. Hesaplama yöntemlerine ilişkin analizlerde $F_{D,S}$ [3], D_A ölçütü ile ilişkilendirilerek Şekil 2b'de karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir [7]. Şekil 2b'de oluşturulan korelasyon grafiğine göre $F_{D,S}$ ve D_A sonuçları arasında düşük düzeyde benzerlik olduğu ortaya konmuştur ($R^2=0.43$). Farklı doğal aydınlatma sistemi tasarım parametrelerinin ele alındığı senaryolarda $F_{D,S}$ yöntemi ile D_A yöntemine göre ofis mekânına ait güneşliği etkinlik düzeyinin genel olarak daha düşük hesaplandığı tespit edilmiştir. Sonuçlardaki bu genel eğilimin aksine otomatik güneş kontrol elemanının ele alındığı senaryolarda (S10,11,12,22,23,24,34,35,36) ise özellikle güney yönde D_A yönteminin $F_{D,S}$ yöntemine göre iç mekan güneşliği etkinliğini daha düşük düzeyde değerlendirdiği belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında aynı zamanda yönelime bağılı olarak çeşitli doğal aydınlatma sistemi parametrelerinin çalışma mekanının güneşliği performansına etkisi $F_{D,S}$ ve D_A değerlendirme yöntemleri aracılığı ile Şekil 3'te verildiği gibi belirlenmiştir. İlgili parametrelerin güneşliği etkinliği üzerindeki etkisi aşağıda belirtildiği gibi olmaktadır;

- *Saydamlık oranı (SO) etkisi*; Her iki hesaplama yöntemi ile saydamlık oranının artması sonucu iç mekan güneşliği etkinliğinin arttığı görülmektedir. Saydamlık oranının %30'dan %60'a çıkarılması bütün yönler için iç mekan güneşliği etkinliğinin artışında daha etkili olurken, değerlendirme yöntemleri arasında özellikle %30 saydamlık oranı

için Batı yönünde F_{DS} yöntemi ile DA yöntemi arasındaki farkın büyük olduğu görülmektedir. Diğer yandan DA yöntemine göre %90 saydamlık oranı için yön farkının günışığı etkinliğindeki etkisinin oldukça azaldığı, F_{DS} yöntemi ile yön etkisinin belirgin bir şekilde hesaplama sonuçlarına yansıdığı tespit edilmiştir.

- *Cam türü etkisi*; Low-E cam kullanımı sonucu düz cama göre ofis mekanının günışığı etkinliğinde azalış meydana gelmektedir. Her iki hesaplama yöntemi ile belirlenen sonuçlara göre cam türü değişimi %30 SO için diğer SO alternatiflerine göre çalışma mekanına ait günışığı performansı üzerinde daha etkili olmaktadır. F_{DS} ve DA yöntemleri ile belirlenen cam türü etkisine ilişkin sonuçlar arasındaki farkın özellikle Güney yönde arttığı görülmektedir.



Şekil 3. Farklı doğal aydınlatma tasarım parametrelerinin iç mekan günışığı performansına etkisi; (a) Düz cam- T_{vis} :%80, (b) Low-E cam- T_{vis} : %69, (c) Yatay saçak-0.60m, (d) Otomatik güneş kontrol elemanı

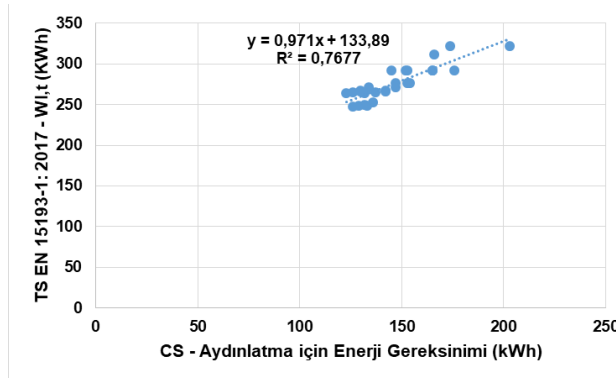
- *Sabit güneş kontrol elemanı kullanımı*; 0.60 m genişliğinde yatay saçak kullanımı, kullanılmayan duruma göre çalışma mekanının günışığı etkinliğinde azalmaya neden olmaktadır. %90 SO için bütün yönlerde yatay saçak kullanımı iç mekan günışığı performansına etkisi az olmakla birlikte, yatay saçak kullanımının günışığı performansı üzerindeki etkisinin F_{DS} yöntemi ile DA yöntemine göre daha keskin bir şekilde değerlendirildiği görülmektedir. Diğer yandan %30 ve %60 SO için F_{DS} yöntemi ile DA yöntemi arasındaki sonuçların farklılaşarak özellikle Güney yönde F_{DS} yöntemi ile yatay saçak kullanımı sonucu mekanın günışığı etkinliğinin yüksek düzeyde azaldığı görülmektedir.
- *Otomatik güneş kontrol elemanı kullanımı*; otomatik güneş kontrol elemanı kullanılması sonucu çalışma mekânının günışığı etkinliğinde güneş kontrol elemanının olmadığı ve yatay saçak kullanıldığı durumlara göre azalma görülmüştür. F_{DS} ile DA ölçütü arasında otomatik güneş kontrol elemanı kullanımı durumunda diğer parametrelere göre daha yüksek düzeyde bir farklılık meydana gelerek, farklılık oranları Güney yön için -14.5%, -15.1%, -16.2%; Doğu için -0.1%, 3.2%, 5.8%; Batı için 2.9%, 6.2%, 10.8% olarak belirlenmiştir (Şekil 2.b).

3.3 Çalışma Mekanına ait Aydınlatma Enerji Gereksiniminin Hesaplama Yöntemi ve İklim Dayalı Günışığı Modeli Aracılığı ile Belirlenmesi

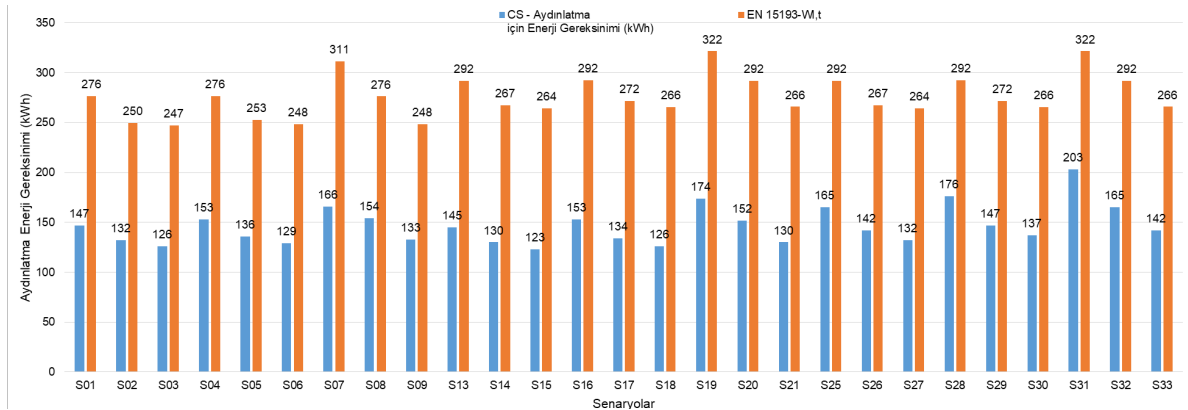
Çalışmada ele alınan mekanın günışığı etkinliğine bağlı olarak yıllık aydınlatma enerji gereksinimi, TS EN 15193-1 standardında tanımlanan yöntem ve Climate Studio (CS) simülasyon programı aracılığıyla tüm senaryolar için hesaplanmıştır. CS programının, aydınlatma enerji gereksiniminin hesaplanmasında otomatik güneş kontrol elemanının etkisini dikkate almadığı gözlemlenmiş ve otomatik güneş kontrol elemanının yer aldığı senaryolar (S10,11,12,22,23,24,34,35,36) çalışmanın bu bölümüne dahil edilmemiştir. TS EN hesaplama yöntemi ve CS simülasyon programı ile belirlenen aydınlatma enerji gereksinimi sonuçları

arasındaki benzerlik ilişkisi Şekil 5'te verilmiştir. Her iki yöntem ile belirlenen aydınlatma enerji gereksinimi değerleri arasındaki benzerlik oranı 0.7677 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4).

Ele alınan senaryolara ait TS EN ve CS programı ile belirlenen aydınlatma enerji gereksinimi sonuçları Şekil 5'te gösterilmiştir. İç mekân günışığı performansını etkileyen değişkenlerden biri olan saydamlık oranı bakımından senaryoların aydınlatma enerji gereksinimleri irdelendiğinde; her iki yöntemde saydamlık oranının artması ile birlikte aydınlatma enerji gereksiniminde azalma gözlemlenmiştir. Bu azalmanın iki yöntemde de, %60 - %90 saydamlık oranları arasında %30 - %60 saydamlık oranlarına göre daha az olduğu tespit edilmiştir



Şekil 4. TS EN hesaplama yöntemi ve CS programı ile belirlenen aydınlatma enerji gereksinimi değerlerine ait benzerlik analizleri.



Şekil 5. Çalışmada ele alınan senaryolara ait aydınlatma enerji gereksinimi değerlerinin farklı yöntemler ile hesaplanması ile elde edilen değerler.

Bir diğer değişken olan yön bakımından analiz yapıldığında; simülasyon programında 3 yön için de senaryoların farklı enerji gereksinimleri olduğu görülmektedir. Bu değerlendirmede; en az enerji gereksinimi olan senaryoların güney yönelimli senaryolar (%30, %60 ve %90 için sırasıyla 147, 132, 126 kWh enerji gereksinimi ile) ve en fazla enerji gereksinimi olan senaryoların ise batı yönelimli senaryolar (165, 142, 132 kWh enerji gereksinimi ile) olduğu belirlenmiştir. TS EN 15193-1 standardı ile yapılan değerlendirmede ise; doğu ve batı yönelimli açıklıkların günışığı etkinlikleri ($F_{D,S}$ değerine bağlı) aynı hesaplandığı için senaryoların aydınlatma enerji gereksinimi değerlerinin (292, 267, 264 kWh) de aynı olduğu görülmektedir. Güney yönelimli senaryoların enerji gereksinimleri (276, 250, 247 kWh) diğer yönler göre daha düşük olarak hesaplanmıştır.

Ofis mekanının günışığı etkinliğini belirleyen parametrelerden biri olan cam türünün etkisi, CS programı aracılığıyla yapılan hesaplamada daha belirgin bir şekilde gözlemlenmiştir (Şekil 5). Üç yön için ana senaryolar olan S01, S13 ve S25'in Low-E kaplamalı cam türüne sahip

senaryolar (S04, S16 ve S28) ile karşılaştırılmasında standart ile yapılan hesaplamada enerji gereksinimlerinin aynı olduğu tespit edilmiştir. Standart ile yapılan hesaplamada diğer değişkenlerin dahil edildiği senaryolarda, cam türünün aydınlatma enerji gereksinimi üzerindeki etkisi çok az olarak (max. 5 kWh) belirlenmiş. Low-E kaplamalı cam türüne sahip senaryoların aydınlatma enerji gereksinimlerinin düz camın kullanıldığı senaryolara göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Güneş kontrol elemanının aydınlatma enerji gereksinimi üzerinde etkisi, 0.60 m genişliğinde yatay saçak kullanılan ve kullanılmayan senaryolar üzerinden analiz edilmiştir. İki yöntemde de, saçığın enerji gereksinimi üzerindeki etkisi %30 ve %60 saydamlık oranına sahip senaryolarda daha belirgin bir şekilde gözlemlenirken %90 saydamlık oranına sahip senaryolarda etkili bir değişken olarak tespit edilmemiştir. Saçığın etkisi ile senaryoların aydınlatma enerji gereksinimlerinde artış meydana gelmiştir.

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

İç mekan günışığı performansına bağlı olarak binalarda aydınlatma enerji gereksiniminin TS EN 15193-1 standardında tanımlanan hesaplama yöntemi ve Climate Studio simülasyon programı aracılığıyla belirlenmesinin amaçlandığı çalışma kapsamında, günışığı etkinliğinin belirlenmesine yönelik Günışığı Faktörü (DF) ölçütü bakımından hesaplama yöntemi ve CS simülasyon programı ile elde edilen sonuçların yüksek düzeyde ilişkili olduğu tespit edilmiştir. İklimle dayalı günışığı değerlendirme ölçütleri bakımından ise günışığının değişken yapısının ele alınması amacıyla standart kapsamında önerilen Günışığı Sağlama Faktörü (FDS) ölçütünün Günışığı Otonomisi (DA) ölçütü ile özellikle hareketli güneş kontrol elemanı etkisinin değerlendirilmesi bakımından oldukça farklı sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Diğer yandan senaryoların aydınlatma enerji gereksinimi bakımından değerlendirilmesi sonucunda otomatik güneş kontrol elemanının ele alınmadığı senaryolar için hesaplama yöntemi ve simülasyon yöntemi arasında kabul edilebilecek bir tutarlılık olduğu görülmüştür.

Elde edilen sonuçlar, TS EN 15193-1 standardında tanımlanan hesaplama yönteminin simülasyon yöntemi ile belirlenen DA ölçütüne göre günışığı etkinliğine bağlı enerji gereksiniminin hesaplanması noktasında daha az enerji etkin sonuçlar verdiğini göstermektedir. Otomatik güneş kontrol elemanı kullanımı durumunda ise iç mekan günışığı etkinliği bakımından hesaplama yönteminin ters bir etki göstererek DA ölçütüne göre daha enerji etkin bir değerlendirme yaptığı gözlemlenebilmektedir. Gelecek çalışmalar için ilgili sonuçların güvenilirliğinin belirlenmesi adına ölçüm yöntemlerinin uygulanması ve doğal aydınlatma sistemine yönelik optimal performans gösteren tasarım alternatiflerinin belirlenebilmesi için senaryoların görsel konfor koşulları bakımında da değerlendirilmesinin yararlı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

1. Dubois M.C ve diğ., “Retrofitting the electric lighting and daylighting systems to reduce energy use in buildings: a literature review,” *Energy Res. J.*, 6 (1), 25–41, 2015.
2. Yu X. ve Su Y., “Daylight availability assessment and its potential energy saving estimation -A literature review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 52, 494–503, 2015.
3. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Binalardaki enerji performansı – Aydınlatma ile ilgili enerji gerekleri – Bölüm 1: Özellikler, Modül M9, <https://intweb.tse.org.tr>, 15.08.2018.

4. Reinhart C.F., Mardaljevic J., Rogers Z., “Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design,” *LEUKOS - J. Illum. Eng. Soc. North A.*, 3 (1), 7–31, 2006.
5. Solemma, <https://www.solemma.com/climatestudio>, 2021.
6. ANSI/ASHRAE/IEA, Standard 90.1-2019-- Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings, USA, <https://www.ashrae.org/technical-resource>, 21.03.2021.
7. ISO 10916, Calculation of the impact of daylight utilization on the net and final energy demand for lighting, 2014, <https://www.iso.org/standard/46394.html>, 15.04.2021.

Destekleyen Kuruluşlar



Kongre Oturum Sponsorları

Sponsorlar alfabetik olarak sıralanmıştır.





© 2021, İstanbul Teknik Üniversitesi

Ulusal Aydınlatma Kongresi (13.: 2021: İstanbul, Türkiye)

13. Ulusal Aydınlatma Kongresi Bildiriler Kitabı, Aydınlatma Türk Milli Komitesi, İstanbul, 2021.

Editörler/Editors: Esra Küçükkılıç Özcan, M. Berker Yurtseven,

İstanbul Teknik Üniversitesi yayınları. Yayın no. 2021.2KNF/6