



# Büro Aydınlatma Alternatiflerinin Bütünleyici Aydınlatma Açısından Karşılaştırılması

## Comparison of Office Lighting Alternatives in Terms of Integrative Lighting

Elif ERKOÇ KAPLAN,<sup>1</sup> Leyla DOKUZER ÖZTÜRK<sup>2</sup>

### EXTENDED ABSTRACT

It is well-known that light has biological and behavioural effects in addition to its visual effects. These effects are described as non-image-forming or non-visual responses. Lighting design considering the visual and non-visual effects of light is expressed in terms such as integrated lighting or human centric lighting. However, there is still no consensus on the illuminance and colour temperature to be provided depending on the type of task or activity in the sense of human centric lighting. The aim of this study is to determine the lighting conditions in an office that are biologically effective, meet the visual requirements and at the same time is rated as positive by the occupants. For this purpose, four static lighting scenarios and one dynamic lighting scenario are created in an office room, which differ in terms of illuminance and correlated colour temperature. These scenarios are compared with regard to visual and non-visual effects of light through surveys and aopic equivalent daylight (D65) illuminance calculations. The composition of static scenarios are '500 lx, 4000 K', '1000 lx, 5500 K', '1250 lx, 4000 K', '1500 lx, 5500 K'. The limits of the dynamic scenario are '500 lx-1000 lx' and '3500 K-5500 K'. These values are provided on the task area of the worktable chosen as a reference to adjust the scenarios through the lighting control system. In order to determine the biological potential of light quantitatively, the melanopic equivalent daylight illuminance was calculated for each working table in the office room. The spectral irradiance data measured at eye level were used in this calculation. In addition to the questions about the determination of the emotional states of the participants, questions about the evaluation of the lighting scenario with regard to illuminance, colour temperature of light, influence on the working conditions and ambient atmosphere were also included in the questionnaire. The statistical evaluation of the survey data was carried out for two different conditions, a long-term and a short-term study. Academic staff working in the mock-up room participated in the long-term study, in which each scenario was implemented for 2 weeks. The participants of the short-term study, in which each scenario was applied for 20 minutes, were academicians, doctoral and master's students. It became apparent that high illuminance and/or cool colour of light are effective in feeling alert, rested and energetic. However, the preference of the participants was generally in favour of the neutral light colour. Regarding illuminance 500 lx was evaluated as low and 1500 lx as high. The scenario that was found to be the most positive in terms of the illuminance, the colour temperature of light and its effect on the working conditions in both long- and short-term study was '1250 lx, 4000 K'. The appreciation of the neutral light colour can also play a role in this result. It was found that the variable ambient atmosphere in dynamic lighting is more natural than static scenarios with 500 lx and 1000 lx. Preferences may conflict with each other in terms of visual and non-visual effects of light. Instead of continuously using scenarios with high illuminance and/or cool light colour, the implementation in shorter periods of time, in which people have to feel more alive and alert, can be a rational and balanced solution. The results of this study, in which the visual and non-visual effects of lighting scenarios with different illuminances and colour temperatures on office workers are assessed, can be considered to determine the optimal conditions for integrated lighting in offices.

**Keywords:** Colour temperature; dynamic lighting; human centric lighting; illuminance; static lighting.

Bu makale, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Fiziyi Programı'nda Prof.Dr. Leyla Dokuzer Öztürk danışmanlığında Elif Erkoç Kaplan tarafından yapılmakta olan doktora tez çalışması kapsamında üretilmiştir.

<sup>1</sup>İstanbul Esenyurt Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, İstanbul  
<sup>2</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı, İstanbul

**Başvuru tarihi: 18 Haziran 2021 - Kabul tarihi: 09 Ağustos 2021**

**İletişim:** Elif ERKOÇ KAPLAN. e-posta: eliferkockaplan@windowslive.com

© 2021 Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi - © 2021 Yıldız Technical University, Faculty of Architecture

## ÖZ

Işığın görsel etkilerinin yanı sıra biyolojik ve davranışsal etkilerinin de olduğu bilinmektedir. Bu etkiler görüntü oluşturmayan ya da görsel olmayan tepkiler olarak tarif edilmektedir. Işığın görsel ve görsel olmayan etkilerini dikkate alan aydınlatma tasarımı bütünleşik aydınlatma ve insan odaklı aydınlatma gibi terimlerle ifade edilmektedir. Bununla birlikte insan odaklı aydınlatma anlamında işleve göre sağlanması gereken aydınlık düzeyi ve renk sıcaklığı konusunda henüz bir fikir birliği yoktur. Bu çalışmada bir büro hacminde aydınlık düzeyi ve benzer renk sıcaklığı bakımından farklı dört statik aydınlatma ve bir dinamik aydınlatma senaryosu oluşturulmuştur. Bu senaryolar ışığın görsel ve görsel olmayan etkileri açısından istatistiksel analiz ve hesaplama yolu ile karşılaştırılmıştır. Işığın biyolojik potansiyelini nicelik olarak belirlemek üzere deney hacmindeki her çalışma masası için melanopik eşdeğer günışığı aydınlık düzeyi hesaplanmıştır. Bu hesaplamada göz hizasında ölçülen tayfsal erkesel aydınlık veri alınmıştır. İstatistiksel değerlendirme, uzun ve kısa süreli çalışma olmak üzere iki farklı koşul için yapılmıştır. Her senaryonun iki hafta boyunca uygulandığı uzun süreli çalışmaya deney hacminde çalışan akademisyenler katılmıştır. Her senaryonun 20 dakika süreyle uygulandığı kısa süreli çalışmanın katılımcıları akademisyenler, doktora ve yüksek lisans öğrencileri olmuştur. Yüksek aydınlık düzeyi ve/veya soğuk ışık renginin uyanık, dinlenmiş ve enerjik hissetmede etkili olduğu ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, katılımcıların tercihi genel olarak ılık renkli ışık ile oluşturulan yüksek aydınlık düzeyinden yana olmuştur.

**Anahtar sözcükler:** *Aydınlık düzeyi; dinamik aydınlatma; insan merkezli aydınlatma; renk sıcaklığı; statik aydınlatma.*

## Giriş

Görme, gözün ağ tabakasındaki ışığa duyarlı alıcılar olan koni ve sopacıkların gelen ışığı görme sinirleri aracılığı ile beyne iletmesi sonucunda gerçekleşir. Işığın görsel etkilerinin ötesinde görsel olmayan etkilerinin de olduğu bilinmektedir. Nitekim ışık, sirkadiyen, hormonal ve davranışsal sistemleri düzenleyen güçlü bir uyartıcıdır. Ayrıca ışık tedavisi belirli duygusal bozukluklar, uyku problemleri ve sirkadiyen ritim bozuklukları üzerinde etkilidir (Lucas, 2014). Işığın bu biyolojik ve davranışsal etkileri, temelde gözün ağ tabakasındaki varlığı son 25 yıldaki çalışmalarla keşfedilmiş olan üçüncü bir alıcıya; özünde ışığa duyarlı retinal ganglion hücrelerine (ipRGCs: *Intrinsically-photosensitive retinal ganglion cells*) bağlı olarak açıklanmaktadır (Berson ve ark., 2002; Hattar ve ark., 2002). ipRGCs alıcılarının ışığa duyarlılığı melanopsin fotopigmentine dayanmaktadır. Gözdeki ışığa duyarlı tüm bu alıcıların birlikte ışığın fizyolojik etkilerinde rol oynadığı düşünülmektedir (Lucas, 2014; CEN, 2017).

Işığın insan üzerindeki biyolojik ve davranışsal etkileri, bu etkilerin görsel algılamadan ayrımlarını yansıtmak için, görüntü oluşturmayan (*NIF: Non-image-forming*) ya da görsel olmayan (*NV: Non-visual*) tepkiler olarak tarif edilmektedir (Lucas, 2014; CEN, 2017). Maruz kalınan zaman, süre, ışık tayfı ve bunların yanı sıra sirkadiyen faz, ışık geçmişi gibi kişiye özgü parametrelere bağlı olarak ışık melatonin hormonunun gece salınımını baskılayabilir, uyanıklığı ve kalp atışını artırabilir, vücut ısısını etkileyebilir (CEN, 2017). Işık insan sağlığı, performansı ve kişinin kendini iyi hissetmesi üzerinde etkili olan biyolojik etkilere de yol açar (CIE, 2019).

Son yıllarda ışığın görsel ve görsel olmayan etkilerini hedefleyen aydınlatma tasarımları, insan odaklı aydınlatma (*human centric lighting*), sirkadiyen aydınlatma (*circadian lighting*) ve biyodinamik aydınlatma (*biodynamic lighting*) gibi terimlerle ifade edilmektedir. Uluslararası Aydınlatma

Komisyonu (CIE) ışığın görsel ve görsel olmayan etkilerini birlikte dikkate alan aydınlatma için resmi terim olarak 'bütünleyici aydınlatma'nın (*integrative lighting*) kullanılmasını önermektedir (CIE, 2019). Uluslararası Aydınlatma Sözlüğünde 'insan odaklı aydınlatma' (*human centric lighting*) ifadesinin bütünleyici aydınlatma ile benzer anlamda kullanıldığı belirtilmiştir (CIE, 2011).

Günümüzde aydınlatma tasarımında ışığın hem görsel hem görsel olmayan etkilerinin dikkate alınması beklenmektedir. Ancak mimari aydınlatmada tasarım kararlarının verilebilmesi için ışığın insan fizyolojisi ve davranışına etkilerinin niceliksel olarak belirlenebilmesi gereklidir. Bu bağlamda mimari aydınlatma tasarımında yol gösterecek, yanıtlanması beklenen sorular vardır. İnsan odaklı aydınlatmada işleve göre sağlanması gereken aydınlık düzeyi ve bu aydınlığı oluşturan ışığın renk sıcaklığı ne olmalıdır? Aydınlık düzeyi ve ışığın renk sıcaklığı gün boyunca durağan (statik) mı yoksa devingen (dinamik) mi olmalıdır? Dinamik aydınlatmada aydınlık düzeyi ve ışık rengindeki değişimin sınırları ve zamanlaması nasıl belirlenmelidir? Bütünleyici aydınlatmanın günümüzde kazandığı önem uluslararası standartlara da yansımaktadır. CEN/TR 16791 Avrupa Standardında ışığın görsel olmayan etkilerini hesaplama yöntemi ele alınmaktadır. CIE, ışığın görsel olmayan etkilerine bakış açısını web sitesinde duyurmuş ve konuyla ilgili 2018 yılında yayımladığı 'CIE S 026' numaralı standardı referans vermiştir (CIE, 2019). Işığın görsel olmayan etkilerini niceliksel olarak belirlemeye yönelik hesaplama yöntemini tanıtan söz konusu standartlar işleve göre aydınlık düzeyi ve renk sıcaklığı önerileri içermemektedir.

Aydınlık düzeyi ve ışığın renk sıcaklığının büro çalışanları üzerindeki etkilerini araştıran çalışmalarda konuya farklı yaklaşımlar söz konusudur. Renk sıcaklığı ve aydınlık düzeyi bileşenlerinden birinin sabit ötekinin değişken olduğu ya da her iki bileşenin birden değiştiği aydınlatma koşulları birbiriyle karşılaştırılmıştır. Schlangen ve arkadaşları ile

Smolders ve arkadaşları renk sıcaklığını sabit tutarak aydınlık düzeyini değişken kılmışlardır (Schlangen ve ark., 2015; Smolders ve ark., 2012). Viola ve arkadaşları ile Mills ve arkadaşları ise aydınlık düzeyleri birbirine yakın ancak renk sıcaklıkları farklı aydınlatma senaryolarını karşılaştırmışlardır (Viola ve ark., 2008; Mills ve ark., 2007). Bu çalışmalarda karşılaştırmak üzere seçilen gerek aydınlık düzeyleri gerekse renk sıcaklıkları arasındaki farkın büyüklüğü dikkat çekmektedir. Her iki büyüklük açısından da yüksek olan değerlerin genel olarak uyanıklık, canlılık duygusunu artırdığı, performansı yükselttiği ortaya konulmuştur. Tonello ve arkadaşları aydınlık düzeyi ve renk sıcaklığının çeşitli birleşimlerinden oluşan aydınlatma senaryolarını karşılaştırmış ve sıcak renkli ışığın ruh halini iyileştirdiği, ılık renkli ışığın ise uyanıklık üzerinde etkili olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Tonello ve ark., 2019). Statik ve dinamik aydınlatmanın karşılaştırıldığı araştırmalarda ruh halini iyileştirme, performansı artırma gibi açılardan dinamik aydınlatmanın statik aydınlatmaya üstünlük gösterdiği saptanmıştır (Patania ve ark., 2012; Canazei ve ark., 2014). Bir başka çalışmada kullanıcı tercihi dinamik aydınlatmadan yana olmasına karşın istatistiksel açıdan anlamlı sonuca erişilememiştir (de Kort ve Smolders, 2010).

Aydınlık düzeyi ve/veya renk sıcaklığı seçeneklerini görsel olmayan etkileri bakımından karşılaştıran çoğu araştırmada deney koşullarının aynı zamanda bürolardaki görsel konfor gereksinimlerini de karşılaması gereği ihmal edilmiştir. İnsanlar üzerinde uyarıcı, dikkat artırıcı, aktive edici ya da dinlendirici etkisi olan aydınlatma koşulları aynı zamanda onların içinde bulunmaktan hoşnut oldukları bir ortam mıdır? Bu çalışmanın amacı;

- bir büro hacminde ışığın görsel etkilerine yönelik aydınlatma tasarım ölçütlerinin dikkate alındığı farklı aydınlatma senaryoları oluşturmak ve
- bu senaryoları ışığın görsel ve görsel olmayan etkileri açısından değerlendirmektir.

### İşğin Görsel Olmayan Etkilerinin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada, ışığın biyolojik potansiyelinin nicelik olarak belirlenmesinde uluslararası standartlarda önerilen yaklaşım izlenmiştir (CIE, 2019; CEN, 2017). Bu yaklaşımda, göze ulaşan ışıktan etkilenmenin beş alıcı için ayrı ayrı belirlenmesi önerilmektedir. Kısa (S), orta (M), uzun (L) dalga boylarına duyarlı koniler ve sopacıkların tayfsal duyarlılığı ile ipRGC'nin içerdiği melanopsin ile ilgili tayfsal melanopik duyarlılık ilgili literatürde yer almaktadır. Işığın tayfsal dağılımını değerlendirmek üzere fotometrik eş değerlik kavramı kullanılmaktadır. Aydınlatmada kullanılan ışığın tayfına ve beş alıcının duyarlılık eğrilerine bağlı yapılan hesaplamaların sonuçları CIE Ölçün D65 ışığı ile ilişkilendirilmektedir. Buna bağlı olarak, eş değer günışığı aydınlık düzeyi (EDI; *equivalent daylight illuminance*,  $E_{v,\alpha}^{D65}$ ) saptanmaktadır. Işığın

biyolojik etkilerinin ağırlıklı dayandığı melanopsinin tayfsal duyarlılığına bağlı elde edilen sonuç melanopik eş değer günışığı aydınlık düzeyi (MEDI; *melanopic equivalent daylight illuminance*,  $E_{v,mel}^{D65}$ ) olarak ifade edilmektedir. Gözdeki beş alıcının ışığın görsel olmayan etkilerinde oynadığı rolü bütünleştiren bir yöntem ise henüz geliştirilmemiştir. Görme alanının bakış doğrultusu ile +45° açı yapan bölümünde yer alan yüzeylerin ışıklılıklarının yüksek olması, dolaylı aydınlatma uygulaması, büyük yüzeyli aydınlatma aygıtlarının kullanılması ağ tabakanın ilgili bölümüne düşen ışığı artırarak daha etkili bir biyolojik etki yaratacağı savunulmaktadır. Işığın görsel olmayan etkilerinde gözün korneasındaki erkesel aydınlıktan ziyade ağ tabakasındaki aydınlık belirleyicidir. Bununla birlikte, korneada, yani göz hizasında yapılan ölçmeler ile ağ tabakadaki erkesel aydınlığı yaklaşık olarak değerlendirmek üzere bilgi edinilebilir (CEN, 2017; FGL 21). Bu nedenle, bu araştırmanın yapıldığı deney hacminde masada oturan kişilerin göz hizasındaki düşey aydınlık düzeyi ve ışığın tayfsal enerji dağılımı ölçülmüştür.

### Çalışmanın Yöntemi

Araştırma, bir deney hacminde aydınlık düzeyi ve aydınlığı oluşturan ışığın rengine ilişkin farklı aydınlatma senaryoları oluşturmak, bu senaryoları istatistiksel analiz ve hesaplama yolu ile değerlendirmek ve karşılaştırmak üzere planlanmıştır.

### Deney Hacmi

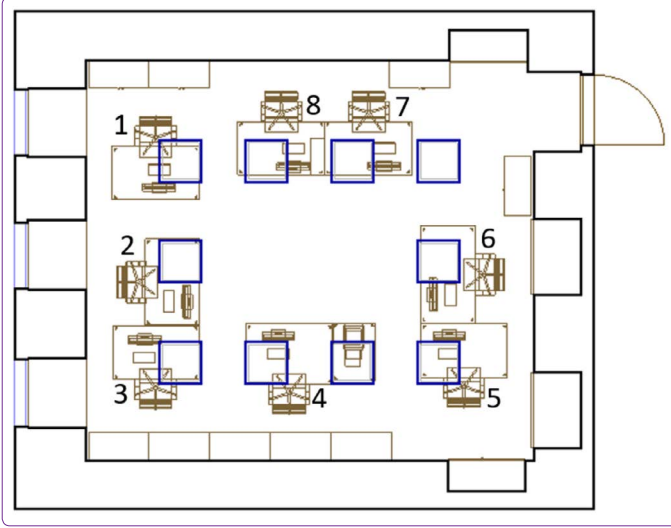
Deney hacmi, Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü bahçe katında yer alan, öğretim elemanlarının çalıştığı bir büro hacmidir. Hacmin pencereleri, kalın olan duvar kesitinin dış ortama yakın yanında bulunmaktadır. Hacmin genişlik, derinlik ve yükseklik ölçüleri sırasıyla 5.55 m, 6.23 m ve 2.60 m'dir. Duvar kalınlığına bağlı oluşan nişlerin içi dikkate alındığında derinlik ölçüsü 7.70 m olmaktadır. Asma tavana gömülü 10 adet ışık akısı ve renk sıcaklığı ayarlanabilir LED'li aydınlatma aygıtı kullanılmıştır (Tablo 1). Aygıt yerleşim düzeni ve iç mimari düzenleme, asma tavan içindeki kirişlerin konumu, kullanıcı sayısı (7), kullanıcıların iç mimari düzenleme açısından tercihleri ve çalışma alanlarındaki aydınlığın olabildiğince birbirine yakın olması dikkate alınarak oluşturulmuştur. Deney hacminin DIALux aydınlatma programındaki modeli Şekil 1'de gösterilmiştir. Model hacimde aydınlatma aygıtları mavi

Tablo 1. Aydınlatma aygıtının özellikleri

Philips RC464B, Lamba: LED80S Güç: 29 W-73 W Işık akısı: 2900 lm-8000 lm Benzer renk sıcaklığı: 2700 K-6400 K Renksel geriverim indisi: ≥ 80 Boyut: 60 cm x 60 cm Yayıcı: Polikarbonat DALI otomasyon sistemi	
---	--

**Tablo 2.** Deney hacmindeki yüzeylerin özellikleri**Yüzeylerin ışık yansıtma çarpanları**

Tavan	%83	Mavi dolap	%18
Duvarlar	%90	Kayın dolap	%37
Döşeme	%24	Meşe masa	%37
Kapı	%75	Kayın masa	%36

**Şekil 1.** Deney hacmi.

renk ile belirtilmiştir. Hacimdeki yüzeylerin özellikleri Tablo 2'de yer almaktadır.

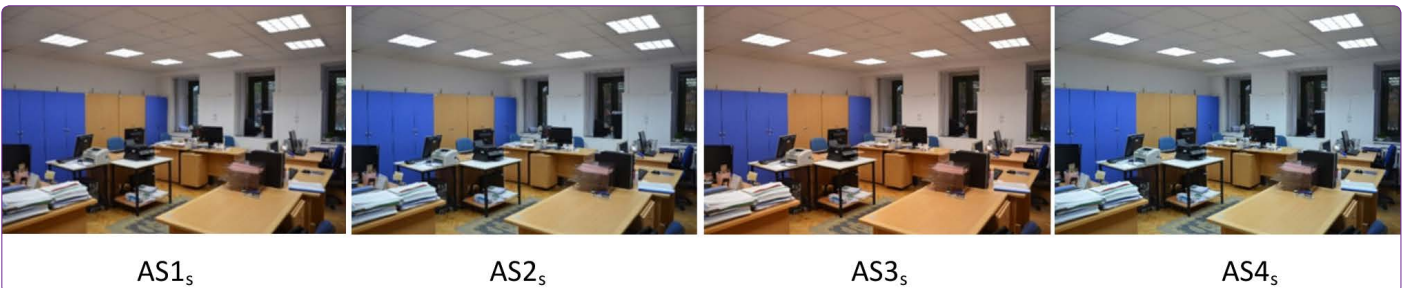
**Aydınlatma Senaryoları**

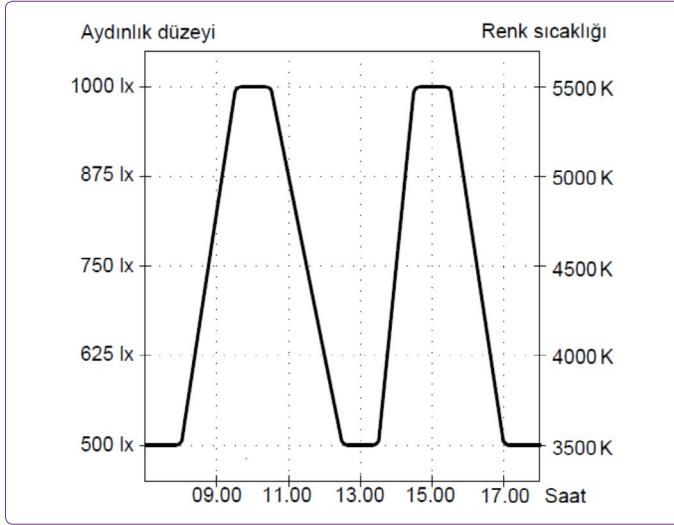
Bütünleyici aydınlatma ışığın görsel ve görsel olmayan etkilerinin birlikte ele alınmasını gerektirmektedir. Işığın görsel etkilerine ilişkin Avrupa standardı uyarınca yazma, okuma, veri işleme gibi etkinliklerin gerçekleştiği büro hacimlerinde çalışma alanında sağlanması önerilen minimum ortalama aydınlık düzeyi 500 lx'tür. Çalışma alanında sağlanması gereken en düşük ortalama aydınlık düzeyine ( $\bar{E}_m$ : 500 lx) ek olarak çalışma koşullarına göre sağlanabilecek daha yüksek ikinci bir düzey ( $\bar{E}_m$ : 1000 lx) de önerilmektedir (CEN, 2019). Teknik çizim yapılan bürolar için çalışma alanında olması önerilen aydınlık düzeyi basamakları ise 750 lx ve 1500 lx'tür.

Deney hacminde ışığın görsel olmayan etkilerini değerlendirmek üzere tasarlanan aydınlatma senaryolarında çalışma alanındaki aydınlık düzeyi basamakları, önerilen minimum ortalama aydınlık düzeyi dikkate alınarak ilk aşamada 500 lx, 1000 lx ve 1500 lx olarak belirlenmiştir. Aydınlatma standardında bürolar için ışığın benzer renk sıcaklığına yönelik bir belirleme bulunmamaktadır. Büroların genel olarak 4000 K-4500 K renk sıcaklığındaki ışık rengi ile aydınlatıldığı düşünülerek renk sıcaklığı basamaklarının birinin 4000 K, ikincisinin ise ışığın biyolojik etkilerinden yararlanmak üzere bundan daha yüksek olması istenmiştir. Bu bağlamda, aydınlatma aygıtı ve otomasyon sistemi özelliklerine bağlı olarak referans alınan deney hacmindeki 5 numaralı masanın çalışma alanında 1500 lx aydınlık düzeyi için en fazla 5500 K renk sıcaklığı elde edilmiştir (Şekil 1). Bürolarda 5000 K-5500 K renk sıcaklıklarının uygulanabilen değerler olmasından ötürü ikinci renk sıcaklığı basamağının 5500 K olmasına karar verilmiştir. Işığın renksel görünümüne yönelik seçimde başka etkenlerin yanı sıra hacimde oluşan aydınlık düzeyi de rol oynar ve aydınlık düzeyi yükseldikçe renk sıcaklığının büyümesi olumlu karşılanabilir. Beyaz ışık izlenimi veren ve iş yerlerinde kullanılması uygun olan renk sıcaklığı aralığının sınırlı olması nedeniyle aydınlık düzeyinin görsel olmayan tepkiler üzerindeki etkisinin ışık tayfından daha büyük olduğu düşünülebilir (Houser ve ark., 2021). Aydınlatma düzeyi ve ışık tayfı bileşenlerinin etkisini karşılaştırmak amacıyla referans masanın kullanıcısının gözü hizasında melanopik eş değer günışığı aydınlık düzeyi açısından '1000 lx, 5500 K' senaryosuna yakın sonuç veren koşullar araştırılmış ve bu doğrultuda dördüncü bir aydınlatma senaryosu (1250 lx, 4000 K) planlanmıştır. Böylece, deney hacminde gün boyunca aydınlık düzeyi ve ışık renginin değişmediği dört statik aydınlatma senaryosu oluşturulmuştur. Statik aydınlatma senaryolarındaki deney hacminin görünümü Şekil 2'deki gibidir. Bu senaryolardaki aydınlık düzeyi ve ışığın renk sıcaklığı aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- Aydınlatma senaryosu 1 (AS1<sub>s</sub>, statik): 500 lx, 4000 K
- Aydınlatma senaryosu 2 (AS2<sub>s</sub>, statik): 1000 lx, 5500 K
- Aydınlatma senaryosu 3 (AS3<sub>s</sub>, statik): 1250 lx, 4000 K
- Aydınlatma senaryosu 4 (AS4<sub>s</sub>, statik): 1500 lx, 5500 K

Katılımcıların dinamik ve statik senaryolara tepkilerini karşılaştırmak üzere aydınlık düzeyi ve ışık renginin gün

**Şekil 2.** Statik senaryolarda hacmin görünümü.



**Şekil 3.** Dinamik aydınlatmada aydınlık düzeyi ve renk sıcaklığının gün boyunca değişimi.

boyunca değiştiği bir dinamik aydınlatma senaryosu da oluşturulmuştur. Dinamik senaryodaki aydınlık düzeyi ve ışığın renk sıcaklığının gün boyunca değişimi Şekil 3'te gösterilmiştir.

- Aydınlatma senaryosu 5 (AS5<sub>d</sub>, dinamik): Sınır değerler; '1000 lx, 5500 K' ve '500 lx, 3500 K'

Bilindiği gibi, bir hacim içindeki tüm noktadaki aydınlık düzeyi ve ışık rengi hiçbir zaman eşit olamamaktadır. Deney hacmindeki aydınlatma düzeni çalışma alanlarındaki aydınlık düzeyinin olabildiğince düzgün yayılması hedeflenerek kurulmuştur. Buna karşın, hacmin mimari özellikleri ve hacimdeki kullanıcı sayısı gibi etkenlerden ötürü masalardaki aydınlık düzeyleri arasında doğal olarak belli farkların oluşması kaçınılmaz olmuştur. Bu nedenle, her senaryo için hedeflenen aydınlık düzeyini otomasyon sisteminde ayarlamak üzere, hacimdeki masalardan birinin referans alınması gerekmiştir. Hacmin koşulları ile ilgili belirtilen nedenlerden ötürü, Şekil 1'de görülen deney hacmindeki sekiz masadan üçündeki (1, 3 ve 5 numaralı masalar) aydınlık düzeyleri öteki beş masaya göre daha düşük olmaktadır. Deney hacmi bahçe katındaki konumu, pencerelerin baktığı yön ve dış ortamdaki yoğun doğal ve yapay engellerden ötürü günışığından çok az yararlanmakta ve yıl boyu her gün, gün boyunca lambaların yakılı olmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Pencerelere en yakın konumdaki 1 ve 3 numaralı masalardaki günışığının düşük nicelikte de olsa olası anlık değişimleri otomasyon sistemi ayarlamalarında güçlük yaratabileceğinden, pencereden uzak konumdaki 5 numaralı masa referans masa olarak seçilmiştir. Aydınlatma senaryoları, referans masada aydınlık düzeyi ve renk sıcaklığı ölçümleri yapılarak ayarlanmıştır. Aydınlatma senaryolarının hazırlanması sürecinde bir masa yüzeyindeki ve o masanın kullanıcısının gözü hizasındaki renk sıcaklığı (K) ölçmelerinin birbirine yakın olduğu saptanmıştır. Senaryo

**Tablo 3.** Uzun süreli çalışmaya katılan kişiler (Masa 1-7)

Yaş	26-30	41-50	51-60	Toplam
Kadın	1	1	2	4
Erkek	2	1	-	3
Toplam	3	2	2	7

**Tablo 4.** Kısa süreli çalışmaya katılan kişiler (Masa 1-8)

Yaş	18-25	26-30	31-40	41-50	51-60	≥ 61	Toplam
Kadın	6	8	12	5	5	1	37
Erkek	3	5	-	4	3	-	15
Toplam	9	13	12	9	8	1	52

**Tablo 5.** Çalışma takvimi

#### Uzun süreli çalışma

AS1s	04.11.2019-15.11.2019
AS2s	25.11.2019-06.12.2019
AS3s	09.12.2019-20.12.2019
AS4s	23.12.2019-03.01.2020
AS5d	02.03.2020-13.03.2020

#### Kısa süreli çalışma

AS1s-AS4s	13.01.2020-27.02.2020
-----------	-----------------------

ayarlaması sırasında aydınlık düzeyi ve ışık rengi ölçmelerinin eş zamanlı yapılması gerektiğinden, bu iki büyüklüğü birden ölçebilen tek bir ölçme aleti (*Konica Minolta Chroma meter CL-200A*) kullanılarak referans masadaki aydınlık düzeyi ve ışık rengi ölçmeleri aynı anda yapılmıştır.

#### Katılımcı Özellikleri

İstatistiksel değerlendirme, uzun süreli ve kısa süreli çalışma olmak üzere iki farklı koşul için yapılmıştır. Bu iki koşul için katılımcı özellikleri Tablo 3 ve 4'te verilmiştir. Her iki çalışmanın gerçekleştirildiği tarihler Tablo 5'de yer almaktadır. Deney hacminin sürekli kullanıcılarının katıldığı uzun süreli çalışmada beş aydınlatma senaryosunun her biri iki hafta boyunca; akademisyenler, yüksek lisans ve doktora öğrencilerinin katıldığı kısa süreli çalışmada dört statik senaryonun her biri 20 dakika süre uygulanmıştır.

Uzun süreli çalışmaya katılan yedi kişiden dördü gözlük, biri ise kontakt lens kullanmaktadır (CIE, 2020a). Bu çalışmada katılımcıların deney hacminde buldukları süre, öğretim elemanlarının ders yükü, idari görevleri, iş yeri dışında katıldıkları çeşitli toplantı ve etkinlikler nedeniyle birbirinden farklılık göstermiştir. Bir insanın kronotipi onun

24 saatlik süre zarfında hangi zaman dilimlerinde uyumaya meyilli olduğunu gösterir. Aydınlatma senaryolarının gece uykusu üzerindeki etkileri de ortaya konulmak istenmiştir. Buna bağlı olarak, deneysel çalışmalara başlamadan önce katılımcıların kronotipini saptamak üzere Sabahçıl-Akşamcıl Testi (MEQ: *Morningness Eveningness Questionnaire*) yapılmıştır (Horne ve Östberg, 1976; Biggs, 2015). Katılımcıların beşi ‘ara tip (*intermediate*)’, ikisi ‘akşamcıl tipe yakın (*moderate evening*)’ çıkmıştır.

#### Anket Soruları

Uzun süreli çalışmada katılımcılar deney hacminde buldukları her gün için işten ayrılmadan önce günlük anketi yanıtlamışlar ve harf rakam eşleştirme testi (LDST: *letter digit substitution test*) yapmışlardır. LDST aracılığı ile katılımcıların görsel tarama, zihinsel esneklik, sürekli dikkat, bilgi işleme hızı gibi tepkilerini değerlendirmek amaçlanmıştır (Jolles, 1995; Van der Elst ve ark., 2006). Günlük ankette, duygudurum, verim, aydınlık düzeyi, ışık rengi, ışıklılık, çalışma koşulları, kamaşma, ruh hali, ortam atmosferi ve genel değerlendirmeye yönelik sorular sorulmuştur. Dinamik aydınlatma anketine aydınlık düzeyi ve ışık rengindeki değişiminin hızı, niceliği ve zamanlamasına ilişkin sorular da eklenmiştir. Günlük test soruları 5’li Likert tipi skala (*5-point Likert-type-scale*) ile yanıtlanmıştır (5: en olumlu, 1: en olumsuz). Katılımcılar ayrıca her haftanın sonunda, bir senaryo boyunca iki kez ‘PROMIS uyku bozukluğu testi (*PROMIS sleep disturbance*)’ yapmışlardır (PHO, 2008-2012).

Kısa süreli çalışmada her senaryonun peşinden uzun süreli çalışmadaki günlük anket sorularının benzeri cevaplanmış ve LDST testi yapılmıştır. Bu çalışmada katılımcılardan ayrıca aydınlatma senaryosu seçeneklerini kişisel beğeni bakımından 1-10 arasındaki sayılar ile derecelendirmeleri de istenmiştir. Bir sonraki senaryoya geçmeden önce yaklaşık beş dakika ara verilmiştir. Kısa süreli çalışmanın toplam süresi yaklaşık 120 dakika olmuştur. Katılımcılara statik se-

naryoları uygulama sırası AS1<sub>s</sub>, AS2<sub>s</sub>, AS3<sub>s</sub> ve AS4<sub>s</sub> şeklinde olmuştur. Senaryolar arasında verilen arada AS1<sub>s</sub> uygulanmıştır. Dileyen katılımcı verilen arada deney hacminden çıkıp koridorda da zaman geçirebilmiştir. Katılımcılar deneyler sırasında okuma, yazma gibi eylemlerde bulunmuş, bilgisayar kullanmamışlardır.

#### Ölçmeler

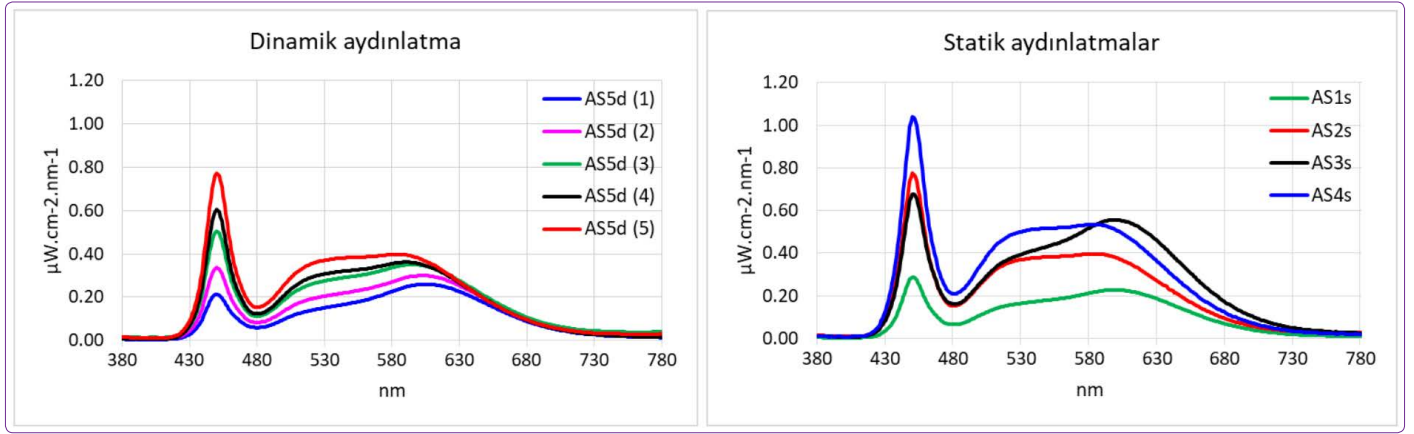
Işığın biyolojik etkilerine yönelik yapılan hesaplarda göz hizasındaki ( $N_g$ ) düşey aydınlık düzeyinin ve göz hizasındaki tayfsal erkesel aydınlığın dikkate alınması gerekmektedir. Göz hizasındaki düşey konumdaki ölçmeler UPRtek MK350S tayfsal ışınımölçer ile yapılmıştır. Ölçme aleti ile göz hizasındaki tayfsal erkesel aydınlığın yanı sıra düşey aydınlık düzeyi ve ışığın renk sıcaklığı da ölçülmüştür. Göz hizasındaki düşey aydınlık düzeyi ( $E_v$ ) ölçmesi ayrıca Konica Minolta T-10 aydınlıkölçer ile de yapılmıştır. Masadaki referans noktada ( $N_r$ ) eş zamanlı Konica Minolta renk ve aydınlıkölçer CL-200A ile yapılan yatay aydınlık düzeyi ( $E_r$ ) ve benzer renk sıcaklığı (CCT) ölçmeleri ( $T_{cp}$ ) ile senaryolar otomasyon sisteminde tanımlanmıştır. Tüm senaryolar için ölçme sonuçları Tablo 6’da sunulmuştur. Dinamik aydınlatma senaryosu ile ilgili ölçmeler aydınlık düzeyi (E) ve renk sıcaklığının (K) gün içindeki değişimini yansıtmak üzere seçilen aşağıdaki beş farklı değer için yapılmıştır (Şekil 3):

- (1) 500 lx, 3500 K; saat 12.30-13.30 ve 17.00-18.00
- (2) 625 lx, 4000 K; saat 08.20, 12.00, 13.45 ve 16.40
- (3) 750 lx, 4500 K; saat 08.45, 11.30, 14.00 ve 16.15
- (4) 875 lx, 5000 K; saat 09.10, 11.00, 14.15 ve 15.50
- (5) 1000 lx, 5500K; saat 09.30-10.30 ve 14.30-15.30

Referans masa için tüm senaryolara ilişkin ölçme sonuçları Tablo 6’da yer almaktadır. Aynı masa için statik senaryolarda ve dinamik senaryonun beş farklı saatinde ölçülen tayfsal enerji dağılımları Şekil 4’te gösterilmiştir.

**Tablo 6.** Ölçme sonuçları: Masa 5

Aydınlatma senaryosu	Yatay ölçmeler ( $N_r$ )		Düşey ölçmeler ( $N_g$ )		
	Konica Minolta CL-200A		UPRtek MK350S		Konica Minolta T10
	$E_r$ , lx	$T_{cp}$ , K	$E_v$ , lx	$T_{cp}$ , K	$E_v$ , lx
AS1 <sub>s</sub>	497	4148	131.8	4044	236.6
AS2 <sub>s</sub>	990	5500	258.2	5493	475
AS3 <sub>s</sub>	1246	4088	319.2	3976	614
AS4 <sub>s</sub>	1478	5537	348.4	5557	706
AS5 <sub>s</sub> (1)	515	3405	134.7	3301	247
AS5 <sub>s</sub> (2)	632	4016	167.7	3797	314
AS5 <sub>s</sub> (3)	759	4528	210.8	4391	357
AS5 <sub>s</sub> (4)	870	4959	225.1	4833	401
AS5 <sub>s</sub> (5)	990	5500	258.2	5493	475



Şekil 4. Dinamik ve statik aydınlatmalardaki tayfsal enerji dağılımları.

Tablo 6'da görüldüğü gibi, tayfsal ışınımölçer (kolon 4) ve aydınlıkölçer (kolon 6) ile göz hizasında ölçülen düşey aydınlık düzeyi ölçmeleri arasında fark vardır. Bu farkın nedeni, tayfsal ışınımölçer alıcısının alete bir miktar gömülü olmasından ötürü alıcı görme alanının sınırlandırılmasıdır (yaklaşık  $\pm 52^\circ$ ). Bir aydınlıkölçer ise fotosel yüzeyine yarım küre içindeki tüm doğrultulardan gelen ışığın oluşturduğu aydınlığı ölçmektedir. İnsan gözünün görme alanı ise sınırlı olup, iç mekanlarda düşeyde  $+45^\circ$  ile  $-70^\circ$  arasındadır (Schlangen ve Price, 2019). Öte yandan, Ganglion hücrelerin retinada ağırlıklı bulunduğu bölgeye bağlı olarak yatay bakış doğrultusu ve bu doğrultu ile  $+45^\circ$  açı yapan doğrultu arasındaki bölgeden gelen ışık biyolojik açıdan en etkilidir (FGL 21). Bununla birlikte, başın konumu sabit olmayıp bakış doğrultusu genellikle aşağıya doğru çalışma alanına (çalışma masası, bilgisayar ekranı) yönelik olur. Işığın görsel olmayan etkilerini doğru değerlendirebilmek için insanın görme alanı dikkate alınmalıdır. Sliney, ölçme aleti alıcısı görme alanının sınırlandırılması gerektiğini, aksi takdirde yarım küreden alıcıya gelen ışınımın dikkate alınmasından ötürü yanıltıcı sonuçlar elde edilebileceğini belirtmektedir (Sliney, 2019). Işığın biyolojik etkilerinin hesaplanmasında veri oluşturacak erkesel aydınlığın (*irradiance*) ölçüm biçimi ile ilgili çeşitli yollar üzerinde tartışılmaktadır. Bunlar, erkesel aydınlığın düşey düzlemde, düşey yarı silindirde ya da sınırlandırılmış görme alanı içinde (yatayda  $180^\circ$ , düşeyde iç mekanlar için  $+20^\circ$  ile  $-70^\circ$  arası) ölçümüdür (Schlangen ve Price, 2019). Bu açıklamalara bağlı olarak, çalışmada

kullanılan tayfsal ışınımölçer ile ölçülen değerlerin ışığın biyolojik etkilerini değerlendirmek açısından aydınlıkölçer ile ölçülen değerlere göre daha güvenilir olduğu sonucuna varılabilir.

### Hesaplama Sonuçları

Bu çalışmada gözdeki beş alıcının ışık tayfından etkilenmesinin büyüklüğü CIE S 026:2018 ve EN 16791 tarafından önerilen yaklaşım ile belirlenmiştir (CIE, 2019; CEN, 2017). Işığın tayfsal enerji dağılımı ve gözdeki beş alıcının tayfsal etkilenmesi dikkate alınarak her alıcı için ayrı ayrı  $\alpha$ -opik erkesel aydınlıklar ve  $\alpha$ -opik eş değer günışığı (D65) aydınlık düzeyleri (EDI: *equivalent daylight illuminance*) aşağıdaki eşitlikler uyarınca hesaplanmıştır:

$$\alpha\text{-opik erkesel aydınlık} = \int \text{tayfsal erkesel aydınlık} \times \alpha\text{-opik etki tayfı} \times d\lambda \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (1)$$

$$\alpha\text{-opik EDI} = \alpha\text{-opik erkesel aydınlık/günışığı için } \alpha\text{-opik ışıksal ışınımın opik verimi (Ix)} \quad (2)$$

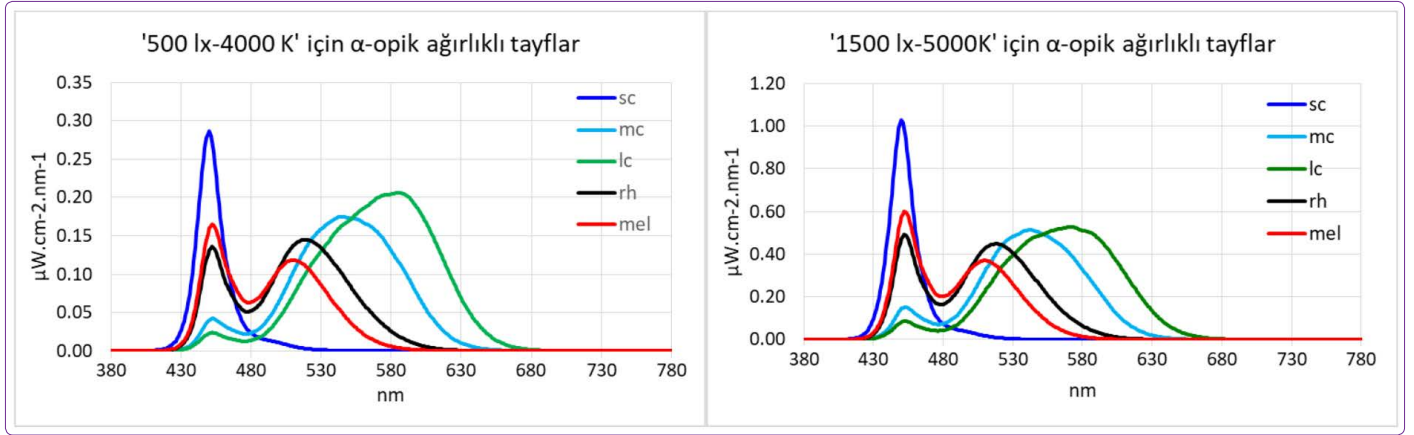
$\alpha$ -opik, gözdeki ışığa duyarlı beş alıcıdan herhangi birine işaret eden genel bir ifadedir. Örneğin, statik aydınlatma senaryosu 1 ve 4'te referans masa 5 için hesaplanan  $\alpha$ -opik değerleri Tablo 7'deki gibidir. Bu senaryolara ilişkin  $\alpha$ -opik ağırlıklı tayflar Şekil 5'de sunulmuştur. Melanopik eş değer günışığı aydınlık düzeyi (MEDI; *melanopic equivalent daylight illuminance*)  $E_{v,mel}^{D65}$  olarak da ifade edilmektedir. Çalışma kapsamında yapılan hesaplar ayrıca CIE Excel programı ile de doğrulanmıştır (CIE, 2020b). Tüm senaryolar için hesaplanan göz hizasındaki melanopik eş değer günışığı

Tablo 7. Aydınlatma senaryosu 1 ve 4 için hesaplama sonuçları: Masa 5

		S-koni-opik (sc)	M-koni-opik (mc)	L-koni-opik (lc)	Rodopik (rh)	Melanopik (mel)
AS1 <sub>s</sub>	Erkesel aydınlık	0.07 W/m <sup>2</sup>	0.17 W/m <sup>2</sup>	0.22 W/m <sup>2</sup>	0.13 W/m <sup>2</sup>	0.11 W/m <sup>2</sup>
	EDI	86.59 lx	115.97 lx	132.06 lx	93.10 lx	85.42 lx
AS4 <sub>s</sub>	Erkesel aydınlık	0.25 W/m <sup>2</sup>	0.48 W/m <sup>2</sup>	0.56 W/m <sup>2</sup>	0.42 W/m <sup>2</sup>	0.37 W/m <sup>2</sup>
	EDI	305.10 lx	329.24 lx	344.90 lx	291.62 lx	276.89 lx

**Tablo 8.** Melanopik eş değer günışığı aydınlık düzeyleri

Aydınlatma senaryosu	Melanopik eş değer günışığı aydınlık düzeyleri (lx)							
	Masa 1	Masa 2	Masa 3	Masa 4	Masa 5	Masa 6	Masa 7	Masa 8
AS1s	79.61	133.79	98.32	93.78	85.42	116.15	139.65	140.78
AS2s	189.19	308.18	226.83	211.16	203.80	249.59	313.09	316.87
AS3s	204.53	320.61	238.99	229.41	205.19	264.20	333.17	323.58
AS4s	289.22	455.63	344.70	317.85	276.89	378.84	485.36	476.49
AS5d	132.93	207.54	153.90	149.45	139.51	180.09	216.63	-



**Şekil 5.** Senaryo 1 ve 4 için α-opik ağırlıklı tayflar: Masa 5.

aydınlık düzeyleri (MEDI) Tablo 8’de sunulmuştur. Dinamik senaryonun gün içindeki değişimini yansıtmak üzere seçilen beş farklı aydınlık düzeyi ve ışık rengi ile bu değerlere karşılık gelen zaman dilimleri dikkate alınarak ağırlıklı ortalama MEDI hesaplanmıştır.

### Anket Sonuçları

Günlük anket sorularının yanıtları, LDST sonuçları ve PROMIS uyku bozukluğu testi verileri uzun süreli çalışmada Wilcoxon İşaretili Sıralar Testi (*Wilcoxon Signed Ranks Test*), kısa süreli çalışmada Welch testi uyarınca SPSS istatistiksel analiz programı ile değerlendirilmiştir.

### PROMIS Uyku Bozukluğu Testi

Uzun süreli çalışma kapsamında tüm katılımcılar her haftanın bitiminde PROMIS uyku bozukluğu testindeki her soruyu beşli skala (1: hiçbir zaman, 5: daima) üzerinden yanıtlamışlardır. Bu yanıtlara dayalı hesaplanan ham puanların T-score karşılıklarının istatistiksel değerlendirmesinde dinamik senaryo (AS5<sub>d</sub>), 1000 lx (AS2<sub>s</sub>) ve 1250 lx (AS3<sub>s</sub>) senaryolarına göre %95 güven düzeyinde anlamlı farklılık göstermiştir. AS4<sub>s</sub> ile AS3<sub>s</sub> ve AS5<sub>d</sub> ile AS4<sub>s</sub> arasında ise ancak %90 güven düzeyinde anlamlı fark görülmüştür. Bu bağlamda, dinamik senaryonun uyku üzerinde olumlu etki yapan senaryo olduğu söylenebilir. AS4<sub>s</sub> senaryosu yalnızca AS3<sub>s</sub>’e göre %90 güven düzeyinde anlamlı farklılık gös-

terdiğinden senaryoların uyku üzerindeki etkisini aydınlık düzeyi ve/veya ışığın renk sıcaklığına bağlamak anlamlı görünmemiştir. Kişilerin iş ve özel yaşamlarındaki koşulların da uyku üzerinde etkisi olduğu bilinmektedir.

### LDST Harf Rakam Eşleştirme Testi

Her iki çalışmada da aydınlık düzeyinin en düşük olduğu AS1<sub>s</sub> senaryosunda en küçük LDST skoru elde edilmiştir. Uzun süreli çalışmada AS2<sub>s</sub>, AS3<sub>s</sub> ve AS4<sub>s</sub> senaryoları AS1<sub>s</sub>’e göre %95 güven düzeyinde anlamlı farklılık göstermiştir. Kısa süreli çalışmada AS1<sub>s</sub> senaryosuna göre AS3<sub>s</sub> senaryosu %99, AS2<sub>s</sub> ve AS4<sub>s</sub> senaryoları %95 güven düzeyinde anlamlı farklılık göstermiştir. Her iki çalışmada da aydınlık düzeyinin  $\geq 1000$  lx olması test sonucuna olumlu yansımıştır.

### Anket Sonuçları

Uzun süreli çalışmanın günlük anketlerinde 32 soru sorulmuştur. Statik ve dinamik senaryolarda aydınlık düzeyi ve ışığın renk sıcaklığı soruları farklılaşmıştır. Kısa süreli çalışmada sorulan soru sayısı 27’dir. Duygudurum soruları üç grupta toplanmış olup her grubu temsilen bir soru, verimlilik sorusu, statik aydınlatmadaki aydınlık düzeyi (E) ve ışığın renk sıcaklığı (K) değerlendirmesi soruları, aydınlatma senaryosunun masada okuma yazma gibi çalışma koşullarına etkisi ile ortam değerlendirmesi sorusu olmak üzere 10 soru örneklemek açısından seçilmiş ve istatistiksel değerlendirme sonuçları Tablo 9-12’de verilmiştir. Tablo



**Tablo 9.** Senaryo ortalamaları; uzun süreli çalışma

Sorular	Senaryo ortalamaları ( $\mu$ )				
	AS1 <sub>s</sub>	AS2 <sub>s</sub>	AS3 <sub>s</sub>	AS4 <sub>s</sub>	AS5 <sub>d</sub>
Mutlu-Mutsuz	3.40	3.60	3.80	4.00	4.06
Uyanık-Uykulu	3.34	3.85	3.93	4.26	4.03
Dikkatli-Dikkatsiz	3.48	3.97	4.01	4.19	4.05
Verimli-Verimsiz	3.36	3.78	3.76	3.97	3.96
E; Yüksek-Düşük	2.70	3.87	3.72	4.13	-
E; Olumlu-Olumsuz	2.83	3.53	3.62	3.46	-
K; Soğuk-Sıcak	2.70	4.11	2.48	4.25	-
K; Olumlu-Olumsuz	3.00	3.40	3.66	3.18	-
Çalışma; Olumlu-Olumsuz	2.81	3.65	3.65	3.38	3.67
Atmosfer; Doğal-Değil	2.95	2.68	3.27	2.89	3.62

**Tablo 10.** Senaryolar arasındaki anlamlılık düzeyi; uzun süreli çalışma

Sorular	Senaryolar arası anlamlılık düzeyi (p)									
	2-1	3-1	4-1	5-1	3-2	4-2	5-2	4-3	5-3	5-4
Mutlu-Mutsuz		.091	.028	.043		.034				
Uyanık-Uykulu	.075	.046	.028	.028		.042		.091		
Dikkatli-Dikkatsiz	.028	.028	.028	.075						
Verimli-Verimsiz		.028	.028							
E; Yüksek-Düşük	.018	.018	.018							
E; Olumlu-Olumsuz		.042								
K; Soğuk-Sıcak	.018		.018		.017			.018		
K; Olumlu-Olumsuz		.028								
Çalışma; Olumlu-Olumsuz		.063								
Atmosfer; Doğal-Değil				.091			.043			

■ p < 0.05 ■ p < 0.10

9 ve 11'de her soruya verilen 1-5 arasındaki puanların ortalaması ( $\mu$ ), Tablo 10 ve 12'de senaryoların ikili birleşimleri arasındaki anlamlılık düzeyi (p) yer almaktadır. Anlamlılık düzeyinin,  $p < 0.01$ ,  $p < 0.05$  ve  $p < 0.10$  olduğu durumlar sırasıyla farklı koyuluktaki renklerle belirtilmiştir. Uygulanan senaryo sayısı uzun süreli çalışmada beş (1-5), kısa süreli çalışmada ise dördür (1-4).

### Anket Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Anket sorularına alınan yanıtların değerlendirilmesi aşağıdaki gibi yapılabilir (Tablo 9-12):

- Mutlu-Mutsuz: Uzun süreli çalışmada her iki ışık rengi için de aydınlık düzeyinin yükselmesi ile daha mutlu hissedilmiştir. Dinamik aydınlatmada mutlu hissetme hali 500 lx olan AS1s senaryosuna göre artmıştır. Genel olarak aydınlık düzeyindeki yükselmenin mutluluk hissini artırmasında rol oynadığı görülmüştür. Kısa süreli çalışmada ise AS3<sub>s</sub> mutlu hissedilen senaryo olmuştur.

- Uyanık-Uykulu: Uzun süreli çalışmada AS4<sub>s</sub> (1500 lx) senaryosu en uyanık hissedilen senaryo olmuştur. Işık

**Tablo 11.** Senaryo ortalamaları; kısa süreli çalışma

Sorular	Senaryo ortalamaları ( $\mu$ )			
	AS1 <sub>s</sub>	AS2 <sub>s</sub>	AS3 <sub>s</sub>	AS4 <sub>s</sub>
Mutlu-Mutsuz	3.75	3.67	4.12	3.50
Uyanık-Uykulu	3.62	4.42	4.27	4.33
Dikkatli-Dikkatsiz	3.75	4.19	4.10	4.10
Verimli-Verimsiz	3.63	3.92	4.08	3.62
E; Yüksek-Düşük	3.00	4.40	4.21	4.73
E; Olumlu-Olumsuz	3.40	3.71	4.00	3.10
K; Soğuk-Sıcak	2.92	4.13	2.44	4.37
K; Olumlu-Olumsuz	3.56	3.23	4.02	2.92
Çalışma; Olumlu-Olumsuz	3.46	3.60	3.94	3.38
Atmosfer; Doğal-Değil	3.29	2.60	3.54	2.58

**Tablo 12.** Senaryolar arasındaki anlamlılık düzeyi; kısa süreli çalışma

Sorular	Senaryolar arası anlamlılık düzeyi (p)					
	2-1	3-1	4-1	3-2	4-2	4-3
Mutlu-Mutsuz		.033		.010		.000
Uyanık-Uykulu	.000	.017	.003			
Dikkatli-Dikkatsiz	.014	.054	.054			
Verimli-Verimsiz		.031				.024
E; Yüksek-Düşük	.000	.000	.000		.058	.000
E; Olumlu-Olumsuz		.032			.061	.001
K; Soğuk-Sıcak	.000	.002	.000	.000		.000
K; Olumlu-Olumsuz		.033	.003	.000		.000
Çalışma; Olumlu-Olumsuz		.040				.017
Atmosfer; Doğal-Değil	.002		.002	.000		.000

■ p<0.01   ■ p<0.05   ■ p<0.10

renginden bağımsız, aydınlık düzeyinin yükselmesi ile daha uyanık hissedilmiştir. Kısa süreli çalışmada, tüm senaryolar aydınlık düzeyinin en düşük (500 lx) olduğu AS1<sub>s</sub> senaryosuna göre anlamlı fark göstermiş, yani aydınlık düzeyinin > 500 lx olduğu senaryolar uyanık hissettirmiştir. Bununla birlikte, AS1<sub>s</sub> senaryosuna göre soğuk renkli ışıkların uygulandığı AS2<sub>s</sub> ve AS4<sub>s</sub> senaryolarının %99, ılık renkli ışığın kullanıldığı AS3<sub>s</sub> senaryosunun ise %95 güven düzeyinde anlamlı farklılık göstermesi yüksek aydınlık düzeyinin yanı sıra soğuk renkli ışığın da uyanık hissetmede etkisi olduğuna işaret etmektedir.

- Dikkatli-Dikkatsiz: Her iki çalışmada da tüm senaryolar aydınlık düzeyinin en düşük (500 lx) olduğu AS1<sub>s</sub> senaryosuna göre anlamlı fark göstermiştir. Aydınlık düzeyinin > 500 lx olduğu senaryolar dikkatli hissettirmiştir.
- Verimli-Verimsiz: Uzun süreli çalışmada aydınlık düzeyinin yükselmesi ile daha verimli hissedildiği söylenebilir. Kısa süreli çalışmada ise AS3<sub>s</sub> verimli hissedilen senaryo olmuştur.
- Aydınlık düzeyi; Yüksek-Düşük: Uzun süreli çalışmada AS1<sub>s</sub> (500 lx) çalışma alanındaki aydınlık düzeyinin düşük bulunduğu senaryo olmuştur. Öteki senaryolar arasında anlamlı fark çıkmamıştır. Kısa süreli çalışmada aydınlık düzeyinin en düşük ve en yüksek değerlendirildiği senaryolar sırasıyla AS1<sub>s</sub> ve AS4<sub>s</sub> olmuştur. AS4<sub>s</sub> senaryosunun (1500 lx) AS3<sub>s</sub>'e göre (1250 lx) %99, AS2<sub>s</sub>'ye göre (1000 lx) ise %90 güven düzeyinde anlamlı fark göstermesi ışık renginin aydınlık düzeyi değerlendirmesinde rol oynadığını göstermektedir. Soğuk renkli ışıkla oluşan aydınlık ılık renge göre daha yüksek nicelikte algılanmıştır.
- Aydınlık düzeyi; Olumlu-Olumsuz: Uzun süreli çalışmada ılık renkli ışık ile yüksek aydınlık düzeyinin yeğ-

lendiği söylenebilir. Kısa süreli çalışmadaki aydınlık düzeyi değerlendirmesinde AS3<sub>s</sub> senaryosu AS4<sub>s</sub>'e göre %99, AS1<sub>s</sub>'e göre %95 güven düzeyinde anlamlı fark göstermiştir. Dolayısıyla AS3<sub>s</sub> söz konusu iki senaryoya göre daha olumlu değerlendirilmiştir. AS2<sub>s</sub> ise AS4<sub>s</sub>'e göre ancak %90 güven düzeyinde anlamlı fark göstermiştir. AS3<sub>s</sub> ve AS2<sub>s</sub> arasında anlamlı fark görülmemiştir. Aydınlığın niceliğine yönelik yargılar da dikkate alındığında, ılık renkli ışıkla 500 lx aydınlığa göre aynı renkli ışıkla 1250 lx aydınlık; soğuk renkli 1500 lx aydınlığa göre aynı renkli ışıkta 1000 lx aydınlık yeğlenmiştir. Buna bağlı olarak, 500 lx aydınlığın düşük, 1500 lx aydınlığın yüksek bulunduğu, ışık rengi olarak da ılık rengin tercih edildiği sonucuna varılabilir.

- Renk sıcaklığı; Soğuk-Sıcak: Her iki çalışmada da senaryolar arasındaki renk sıcaklıkları farkı ayırt edilmiş ve ışık renginin görsel izlenimine ilişkin değerlendirmeler, renk sıcaklıklarına uygun olarak yapılmıştır. ılık renkli ışıkta, aydınlık düzeyinin yüksek olduğu senaryo daha sıcak renkli algılanmıştır. Soğuk renkli ışıkta ise bunun tersine, aydınlık düzeyinin yüksek olduğu senaryo daha soğuk renkli olarak değerlendirilmiştir.
- Renk sıcaklığı; Olumlu-Olumsuz: İki çalışmada da ılık renkli ışık ile yüksek aydınlık düzeyinin yeğlendiği görüşü oluşmuştur.
- Aydınlatma senaryosunun masada okuma yazma koşullarına etkisi; Olumlu-Olumsuz: Kısa süreli çalışmada AS3<sub>s</sub> masada çalışma koşullarına etki bakımından olumlu bulunan senaryodur. Bu açıdan uzun süreli çalışmada da benzer şekilde ılık renkli ışık ile yüksek aydınlık düzeyinin yeğlendiği sonucuna varılabilir.
- Hacmin atmosferi; Doğal-Doğal değil: Uzun süreli çalışmada 500 lx-1000 lx arasında değişen dinamik

aydınlatmanın ortam atmosferi 1000 lx senaryosuna göre %95, 500 lx senaryosuna göre %90 güven düzeyinde daha doğal bulunmuştur. Buna bağlı olarak dinamik aydınlatmanın, niceliği kendi aydınlık düzeyi sınırlarındaki statik aydınlatmaya göre daha doğal bulunduğu söylenebilir. Dinamik aydınlatma ile daha yüksek niceliklerdeki statik aydınlatmalar arasında bu açıdan anlamlı fark bulunmamıştır. Kısa süreli çalışmada ılık ışık renginin kullanıldığı AS1<sub>s</sub> ve AS3<sub>s</sub> senaryoları doğal olarak değerlendirilmiştir.

Dinamik aydınlatmadaki aydınlık düzeyi ve ışık renginin değişimi, bu değişimin hızı ve zamanlamasına yönelik soruların 'olumlu-olumsuz' olarak 1-5 arasındaki derecelendirilmesi ortalamasının üzerinde olmuştur ( $\mu$ : 3.62-4.12).

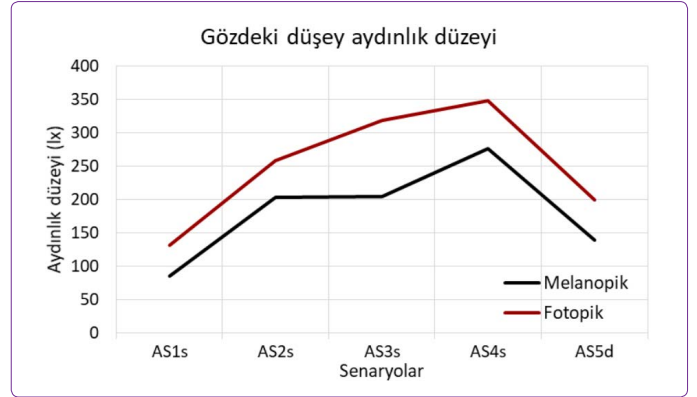
Kısa süreli çalışmanın katılımcıları dört statik senaryoyu ayrıca 1-10 arasındaki sayılar ile derecelendirmişlerdir (1: en olumsuz, 10: en olumlu). Bu derecelendirmede, ankette sorulan tüm sorulara verdikleri yanıtları ve genel beğenilerini dikkate almaları istenmiştir. Derecelendirme sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesinde AS3<sub>s</sub> ( $\mu$ : 7.47) senaryosu AS4<sub>s</sub> ( $\mu$ : 6.03), AS1<sub>s</sub> ( $\mu$ : 6.56) ve AS2<sub>s</sub> ( $\mu$ : 6.77) senaryolarına göre sırasıyla %99, %95 ve %90 güven düzeyinde anlamlı farklılık göstermiştir. Buna göre senaryolar genel beğeni açısından en olumludan olumsuzu doğru AS3<sub>s</sub>, AS2<sub>s</sub>, AS1<sub>s</sub>, AS4<sub>s</sub> olarak sıralanabilir.

### Hesaplama Sonuçlarının Değerlendirilmesi

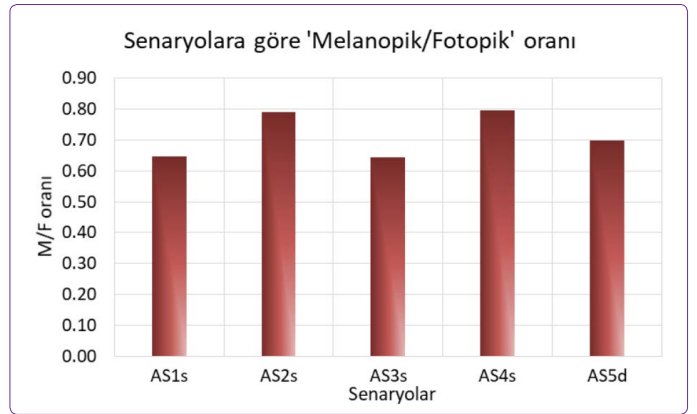
Göz hizasında ölçülen aydınlık düzeyleri ve bu değerlere bağlı hesaplanan melanopik eş değer günışığı aydınlık düzeylerinin (MEDI) senaryolara göre değişimi referans masa için Şekil 6'da gösterilmiştir. Dinamik aydınlatmaya (AS5<sub>d</sub>) ait veriler her iki aydınlık düzeyi için ağırlıklı ortalama değerlerdir. Şekil 6'da görüldüğü gibi, dinamik aydınlatmadaki her iki ortalama aydınlık düzeyi yaklaşık olarak AS1<sub>s</sub> ve AS2<sub>s</sub> senaryolarına ilişkin değerlerin ortalamasına karşılık gelmektedir. Senaryoların planlanmasında hedeflendiği üzere AS2<sub>s</sub> ve AS3<sub>s</sub> senaryolarının MEDI değerleri birbirine çok yakındır.

Bir ışığın melanopik günışığı (D65) verim oranı (*melanopic daylight efficacy ratio*) melanopik ışık akısının (M) fotopik ışık akısına (F) oranını temsil eder ve bu nicelik 'M/F oranı' olarak düşünülebilir (Schlangen ve Price, 2021). Bu oran bir başka deyişle, melanopik eş değer günışığı aydınlığın gündüz görmesi koşullarındaki aydınlığa oranıdır (CEN, 2017).

Referans masa için beş aydınlatma senaryosuna ilişkin Şekil 6'da verilen melanopik ve fotopik aydınlıklara bağlı olarak elde edilen M/F oranları Şekil 7'de gösterilmiştir. Şekil 7'de açıkça görüldüğü üzere, M/F oranı kullanılan ışık rengine göre değişmektedir. Bu oran ılık renkli ışığın uygulandığı iki senaryoda 0.64, soğuk renkli ışığın kullanıldığı iki senaryoda 0.79, dinamik aydınlatmada ise yaklaşık 0.70'dir.



Şekil 6. Düşey aydınlıkların senaryolara göre değişimi: Masa 5.



Şekil 7. M/F oranının senaryolara göre değişimi: Masa 5.

İşğin renk sıcaklığındaki artış, beklendiği gibi melanopik eş değer günışığı aydınlık düzeyinin ve M/F oranının yükselmesine yol açmıştır.

### Tartışma

Aydınlatan ışığın tayfsal enerji dağılımı sabit kaldığı süreçte aydınlık düzeyi ne olursa olsun melanopik aydınlığın fotopik aydınlığa oranı (M/F) aynı kalmaktadır. Bir başka deyişle, enerji dağılımı değişmeden fotopik aydınlık örneğin iki katına çıktığında melanopik aydınlık da iki katına çıkmaktadır. Aydınlık düzeyini sabit tutup melanopik aydınlığı, yani melanopik eş değer günışığı aydınlık düzeyini (MEDI) yükselterek biyolojik açıdan daha etkili aydınlatma sağlamanın yolu ancak tayfsal enerji dağılımını değiştirmektir. İki farklı tayfsal dağılım ile aynı MEDI değeri aydınlık düzeyleri arasında fark yaratarak sağlanabilir. MEDI değerleri eşit/yakın olan koşullara bu çalışmada benzer tepkiler alınması beklenmiştir. Nitekim söz konusu değerlerin çok yakın olduğu AS2<sub>s</sub> ve AS3<sub>s</sub> senaryoları arasında uzun süreli çalışmada temelde anlamlı bir fark çıkmamıştır. Buna karşın kısa süreli çalışmada AS3<sub>s</sub> senaryosu mutlu, konforlu hissetme, ruh hali üzerindeki etki, ortam atmosferi gibi açılardan AS2<sub>s</sub> senaryosuna yeğlenmiştir. Bu değerlendirmede soğuk renkli ışığa göre daha sıcak renkli ışığa olan beğenin de

rol oynadığı düşünülebilir (Tonello ve ark., 2019). Hacimlerin olabildiğince günışığı ile aydınlanması birçok açıdan önemlidir ve insanlar temelde soğuk renkli olan doğal ışık altında bulunmaktan rahatsızlık duymazlar. Bellia ve arkadaşlarının araştırmasında günışığının görsel olmayan etkilerini nesnel olarak değerlendirmek amaçlanmıştır (Bellia ve ark., 2020). Özellikle sabah saatlerinde yeterli nicelikte günışığına maruz kalmanın uykuya dalma süresini kısaltma ve uyku kalitesini artırma, ruh halini iyileştirme, depresyonu azaltma gibi olumlu etkilerinin rapor edildiği çalışmalar vardır (Figueiro ve ark., 2017). Günışığı koşullarındaki benzer büyük M/F oranı iç mekanların gündüz aydınlatmasında yararlı bir özellik olarak düşünülebilir (Schlangen ve Price, 2021). Bununla birlikte, bu çalışmada görüldüğü üzere insanların günışığı ve lamba ışığı hakkındaki yargıları farklı olabilmektedir. Öznel değerlendirmede ışık tayfının kompozisyonu da rol oynayabilir. Bilindiği üzere renk sıcaklıkları, bir başka deyişle renksel görünümüleri aynı ya da yakın olan lamba ışığı ve günışığı tayfındaki enerji dağılımları birbirinden oldukça farklı olabilmektedir.

Beklendiği üzere, yüksek aydınlık düzeyi ve soğuk ışık rengi temelde uyanık, dinlenmiş ve enerjik hissetmede etkili olmuştur. Bu sonuç, yüksek aydınlık düzeyi ya da renk sıcaklığının uyanık ve canlı hissetme duygusunu artırdığı belirtilen başka çalışmalar ile de uyumludur (Smolders ve ark., 2012; Viola ve ark., 2008; Mills ve ark., 2007). Ayrıca, yüksek aydınlık düzeylerinde (AS<sub>3</sub>, AS<sub>4</sub>) daha mutlu hissedilmiştir. Bu sonuç,  $\geq 1000$  lx aydınlığın kişilerin ruh hali ve sosyal etkileşimini olumlu etkilediğini belirten başka çalışmalar ile de uyumludur (aan het Rot ve ark., 2008).

Günlük anket sorularının tümü ve LDST harf rakam eşleştirme testi dikkate alındığında AS<sub>1</sub> senaryosu (500 lx, 4000 K) en az yeğlenmiştir. Her iki çalışmada da aydınlık düzeyi, ışık rengi ve masada çalışma koşulları üzerindeki etkisi açısından en çok olumlanan AS<sub>3</sub> senaryosudur (1250 lx, 4000 K). Bu sonuç üzerinde ışık renginin de etkili olduğu düşünülmektedir. Işık rengi ılık olan AS<sub>1</sub> senaryosundaki aydınlığın niceliği düşük bulunduğundan katılımcılar tercihlerini AS<sub>3</sub> senaryosundan yana kullanmışlardır. Kısa süreli çalışmada AS<sub>3</sub> senaryosunun yanı sıra AS<sub>2</sub> senaryosu da (1000 lx, 5500 K) AS<sub>4</sub> senaryosuna (1500 lx, 5500 K) yeğlenmiştir. Bu veriler 500 lx aydınlığın düşük, 1500 lx aydınlığın ise yüksek olarak değerlendirildiğini, ışık rengi olarak da ılık rengin tercih edildiğini göstermektedir.

Katılımcılardan anket sorularını yanıtlamanın yanı sıra varsa yorumlarını da yazmaları istenmiştir. Uzun süreli çalışmadaki yorumlar arasında yedi kişiden üçü AS<sub>1</sub> senaryosundaki aydınlığı düşük, AS<sub>4</sub> senaryosundaki aydınlığı yüksek bulduğunu belirtmiştir. Ayrıca AS<sub>4</sub> senaryosundaki soğuk ışık rengi olumsuz nitelendirilmiş ve soğuk renkli ışığın uygulandığı iki senaryoda da bilgisayarda çalışma sırasında aygıtların doğrudan kamaşmaya yol açtığı ifade

edilmiştir ( $R_{UGL}$  AS<sub>1</sub>, AS<sub>2</sub> ve AS<sub>3</sub>, AS<sub>4</sub> için sırasıyla  $\leq 12$ ,  $\leq 15$ ,  $\leq 16$ ). Bu belirlemelere ek olarak AS<sub>4</sub> senaryosunun aktive edici ve uyarıcı etkisi olduğu da vurgulanmıştır. Kısa süreli çalışmanın yorumlarında genel olarak ılık ışık rengi olumlu, soğuk ışık rengi olumsuz ancak canlandırıcı ve uyarıcı bulunmuştur. Katılımcıların büyük oranı 500 lx aydınlığı düşük, 1500 lx aydınlığı yüksek olarak nitelendirmiştir. 1000 lx aydınlığı uygun bulanların sayısı yüksek bulanlara oranla daha fazladır. Buna karşılık 1250 lx aydınlığı uygun ve yüksek olarak değerlendirenlerin sayısı birbirine yakındır. Bu yorumlar AS<sub>3</sub>'ün en çok yeğlenen senaryo olması da ışık renginin önemli rol oynadığını düşündürmektedir. Ilık renkli ışıkla oluşan 750 lx ve 1000 lx senaryolarının da kullanıcı tercihi yönünden araştırılmasında yarar vardır. Işığın görsel ve görsel olmayan etkileri bakımından tercihler birbiriyle çelişebilmektedir. Yüksek aydınlık düzeyi ve/veya soğuk ışık renginin çalışma saatleri içinde kişilerin daha canlı, uyanık hissetmesine gereksinim duyulan zaman dilimlerinde uygulanması akılcı ve dengeli bir çözüm olabilir.

Dinamik aydınlatmaya ilişkin katılımcı yorumlarında ise öğle saatlerindeki aydınlık düzeyi ve renk sıcaklığı katılımcıların çoğu tarafından düşük olarak değerlendirilmiştir. Akademisyenlerin çalışma programı değişken olup yemek ve dinlenme molası düzenli öğle saatlerinde verilememektedir. Bu bağlamda normal büro çalışanlarının etkinlik biçimine uygun kurgulanan dinamik senaryonun koşullara göre öğle saatlerinde çalışması gerekebilecek akademik personel için ideal olmadığı sonucuna varılabilir. Buna karşın, dinamik aydınlatmadaki değişken ortam atmosferi, AS<sub>1</sub> ve AS<sub>2</sub> statik senaryolarından daha doğal olarak yargılanmıştır. Dinamik aydınlatmanın seçenek olarak sunulmadığı kısa süreli çalışmada ılık ışık renkleri ile oluşan AS<sub>1</sub> ve AS<sub>3</sub> senaryoları doğal bulunmuştur.

## Sonuç

Son yıllarda ışığın görüntü oluşturmaya etkilerinin de dikkate alındığı insan odaklı aydınlatma kavramı büyük önem kazanmıştır. Artık ışığın insan üzerinde çeşitli biyolojik ve duygusal etkileri olduğu bilinmekte, gündüz iş yerindeki hoşnutluk ve verimlilik gece uyku niteliği üzerinde rol oynadığı kabul edilmektedir. Bununla birlikte, bütüncü aydınlatmanın ilkeleri henüz tanımlanmamıştır. İşleve göre sağlanması gereken aydınlığın niceliği, zamanlaması, süresi ile aydınlığı oluşturan ışığın tayfı üzerinde uzlaşılmış değildir.

Bu çalışmada farklı aydınlatma senaryolarının büro çalışanları üzerindeki çeşitli etkilerini saptamak ve çalışanların bu senaryolara yönelik yargı ve değerlendirmeleri ışığında optimum koşulları belirlemek amaçlanmıştır. Aydınlatma senaryolarının karşılaştırması melanopik eş değer günışığı aydınlık düzeyi hesapları ve anket çalışması aracılığı ile yapılmıştır. Kısa süreli çalışmanın anket sorularının istatis-

tiksel değerlendirmesinde, katılımcı sayısı az ve yaş aralığı geniş olan uzun süreliye göre daha kesin sonuçlara ulaşılmıştır. Katılımcıların ders anlatımı, toplantı, alan çalışması gibi çeşitli akademik etkinlikleri gereği deney hacminde geçirdikleri zaman ve süreler de birbirinden farklılık göstermiştir. Buna karşın, her iki çalışmadaki sonuçların belli ölçüde birbiriyle uyumlu olduğu söylenebilir. Aydınlatma senaryolarının genel beğeni bakımından sıralamasında AS<sub>3</sub> öteki senaryolardan anlamlı farklılık göstermiştir. Kısa süreli çalışma kapsamında yapılan beğeni sıralamasında AS<sub>3</sub> senaryosunu sırasıyla AS<sub>2</sub>, AS<sub>1</sub>, AS<sub>4</sub> senaryolarının izlediği söylenebilir.

Bu çalışma kapsamında en çok yeğlenen AS<sub>3</sub> senaryosu, AS<sub>2</sub> senaryosu ile eşit nicelikte melanopik eş değer günışığı aydınlığı elde etmek üzere kurgulanmış olduğundan bu senaryodaki aydınlık düzeyi (1250 lx) EN 12665 uyarınca önerilen aydınlık düzeyi adımları arasında yer almamaktadır. Bu çalışmanın sonucunda katılımcılar tarafından soğuk renkli ışık yerine ılık renkli ışığın yeğlendiği ortaya çıkmıştır. Ilık renkli ışık ile oluşan 750 lx ve 1000 lx düzeyindeki aydınlıkların değerlendirmeye alındığı başka çalışmaların yapılmasında yarar vardır. Işık tayfı değişmediği sürece aydınlığın niceliğindeki değişim melanopik ve fotopik aydınlıklar arasındaki oranı (M/F) etkilememektedir. Işığın biyolojik etkilerini artırmak amacıyla aydınlık düzeyini yükseltmek yerine daha soğuk renkli ışığı yeğlemek enerji etkin bir çözüm olmakla birlikte, renk sıcaklığı seçiminde kullanıcı tercihleri de göz önünde bulundurulmalıdır. İnsan odaklı aydınlatma kavramı lamba üretimini de yönlendirmekte, bu bağlamda mevcut lambalar ile aynı renk sıcaklığında ancak kısa dalga boylarındaki enerjisi daha fazla olan lambalar ön plana çıkmaktadır.

### Teşekkür

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FDK-2019-3594 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Makalenin yazarları, YTÜ BAP Koordinasyon Birimi'ne ve aydınlatma düzeninin kurulmasına verdikleri destekten ötürü Signify Aydınlatma'ya teşekkür ederler.

### Kaynaklar

- aan het Rot, M., Moskowitz, D. S., and Young, S. N. (2008). Exposure to bright light is associated with positive social interaction and good mood over short time periods: A naturalistic study in mildly seasonal people. *Journal of Psychiatric Research*, 42(4), 311-319.
- Bellia, L., Blaszcak, U., Fragiasso, F., and Gryko, L. (2020). Matching CIE illuminants to measured spectral power distributions: A method to evaluate non-visual potential of daylight in two European cities, *Solar Energy*, 208, 830-858.
- Berson, D. M., Dunn, F. A., and Takao, M. (2002). Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science*, 295, 1070-1073.
- Biggs, S. (2015), The Ritchie Centre, Monash University. <https://www.healthdirect.gov.au/partners/sleep-health-foundation>

- Canazei, M., Dehoff, P., Staggl, S., and Pohl, W. (2014). Effects of dynamic ambient lighting on female permanent morning shift workers, *Lighting Res. Technol.*, (46), 140-156.
- de Kort, Y. A. W., and Smolders, K. C. H. J. (2010). Effects of dynamic lighting on office workers: First results of a field study with monthly alternating settings, *Lighting Res Technol.*, (42), 345-360.
- European Committee for Standardization (2019). Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places, EN 12464-1. Brussels: CEN.
- European Committee for Standardization (2017). Quantifying irradiance for eye-mediated non-image-forming effects of light in humans, PD CEN/TR 16791. Brussels: CEN.
- FGL, Fördergemeinschaft Gutes Licht, Guide to human centric lighting (HCL), *licht.wissen* 21, [https://www.licht.de/fileadmin/Publications/licht-wissen/1809\\_lw21\\_E\\_Guide\\_HCL\\_web.pdf](https://www.licht.de/fileadmin/Publications/licht-wissen/1809_lw21_E_Guide_HCL_web.pdf)
- Figueiro, M. G., Steverson, B., Heerwagen, J., Kampschroer, K., Hunter, C. M., Gonzales, K., Plitnick, B., and Rea, M. S. (2017). The impact of daytime light exposures on sleep and mood in office workers, *Sleep Health*, 3, 204-2015.
- Hattar, S., Liao, H. W., Takao, M., Berson, D. M., and Yau, K. W. (2002). Melanopsin-containing retinal ganglion cells: Architecture, projections, and intrinsic photosensitivity. *Science*, 295, 1065-1070.
- Horne, J. A., Östberg, O. (1976). A self assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. *International Journal of Chronobiology*, 4, 97-110.
- Houser, K. W., Boyce, P. R., Zeitzer, J. M., and Herf, M. (2021). Human-centric lighting: Myth, magic or metaphor? *Lighting Res Technol*, 53, 97-118.
- International Commission on Illumination, (2020a). What to document and report in studies of ipRGC-influenced responses to light, CIE TN 011:2020, [https://files.cie.co.at/CIE\\_TN\\_011\\_2020.pdf](https://files.cie.co.at/CIE_TN_011_2020.pdf).
- International Commission on Illumination, (2020b). CIE S 026 Toolbox. v1.49a, <https://cie.co.at/publications/cie-system-metrology-optical-radiation-iprgc-influenced-responses-light-0>.
- International Commission on Illumination, (2019). CIE Position statement on non-visual effects of light, Recommending proper light at the proper time, [https://cie.co.at/files/CIE%20Position%20Statement%20-%20Proper%20Light%20at%20the%20Proper%20Time%20\(2019\)\\_0.pdf](https://cie.co.at/files/CIE%20Position%20Statement%20-%20Proper%20Light%20at%20the%20Proper%20Time%20(2019)_0.pdf).
- International Commission on Illumination, (2011). International lighting vocabulary. CIE S017/E. Vienna: CIE. <https://cie.co.at/e-ilmv>.
- Jolles, J., Houx, P. J., Van Boxtel, M. P. J., and Ponds, R. W. H. M. (1995). Maastricht Aging Study: Determinants of Cognitive Aging. Maastricht, The Netherlands: Neuropsych Publishers.
- Lucas, R. J., et al. (2014). Measuring and using light in the melanopsin age, *Trends in Neurosciences*, 37(1), 1-9.
- Mills, P. R., Tomkins, S., and Schlangen, L. J. M. (2007). The effect of high correlated colour temperature office lighting on employee wellbeing and work performance. *Journal of Circadian Rhythms*, 5, 2.
- Patania, F., Gagliano, A., Nocera, F., Galesi, A., and Caserta, J. (2012). The dynamic lighting into the working environment,

- Int J Design & Nature and Ecodynamics, 7(4), 394-408.
- PHO, 2008-2012. PROMIS-Sleep disturbance-short form-Adult, PROMIS Health Organization and PROMIS Cooperative Group.
- Schlangen, L. J. M., and Price, L. L. A. (2021). The lighting environment, its metrology, and non-visual responses, *Frontiers in Neurology*, <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.624861>
- Schlangen, L., and Price, L. (2019). Report on the workshop: Use and application of the new CIE S 026/E:2018, Metrology for ipRGC-influenced responses to light "Specifying light for its eye-mediated non-visual effects in humans". Proceedings of the 29th CIE Session, Washington D.C., USA, June 14-22, 114-118.
- Schlangen, L. J. M., Verhaegh, J., Denissen, A. J. M., Talen, H. J., Herremans, H. M. L., Bikker, J. W., de Ruyter, B., and Lemmens, P. M. C. (2015). Workplace illumination effects on acuity, cognitive performance and well-being in older and young people, 28th CIE Session, Manchester, United Kingdom, 87-95.
- Sliney, D. (2019). Retinal Exposure assesment-horizontal or vertical alpha irradiance or illuminance? Proceedings of the 29th CIE Session, Washington D.C., USA, June 14-22, 127-133.
- Smolders, K. C. H. J., de Kort, Y. A. W, and Cluitmans, P. J. M. (2012). A higher illuminance induces alertness even during office hours: Findings on subjective measures, task performance and heart rate measures, *Physiology & Behaviour*, 107, 7-16.
- Tonello, G., de Borsetti, N. H., Borsetti, H., Tereschuk, L., and Lopez Zigarán, S. (2019). Perceived well-being and light-reactive hormones: An exploratory study, *Lighting Res Technol*, 51, 184-205.
- Van der Elst, W., van Boxtel, M. P. J., van Breukelen, G., and Jolles, J. (2006). The letter digit substitution test: Normative data for 1858 healthy participants aged 24-81 from the Maastricht aging study (MAAS): Influence of age, education, and sex. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 28, 998-1009.
- Viola, A. U., James, L. M., Schlangen, L. J. M., and Dijk, D. J. (2008) Blue-enriched white light in the workplace improves self-reported alertness, performance and sleep quality. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 34, 297-306.