

AYGIT IŞIK YEĞİNLİK DAĞILIMININ AYDINLIĞIN DÜZGÜN YAYILMIŞLIĞINA ETKİSİ; AÇIK PLANLI OFİS ÖRNEĞİ

Kasım ÇELİK¹

Esra KÜÇÜKKILIÇ ÖZCAN²

Rengin ÜNVER³

^{1,2,3}Mimarlık Bölümü, Mimarlık Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 34349, Beşiktaş, İstanbul
kasimc@yildiz.edu.tr esrakucukkilic@gmail.com runver@yildiz.edu.tr

ÖZET

Günümüzde mekanların işlevsel ve estetik olmasının yanında, fizik ortam öğeleri açısından kullanıcı konforuna yönelik uygun koşulları sağlaması mekanda gerçekleştirilen eylemlerin zorlanmadan, yorulmadan ve uzun süre verimli bir biçimde gerçekleştirilebilmesi için gereklidir. Bu koşullardan biri de fizik ortam öğelerinden ışığın oluşturduğu aydınlatma konusudur. Bir aydınlatma düzeninin oluşturacağı nicelik ve nitelik gerçekleştirilen eylem ve kullanıcı özelliklerine göre tasarlanmalıdır. Bu bağlamda aydınlığın niteliğiyle ilgili özelliklerden aydınlığın dağılımı ve aydınlık düzeyi değişimleri mekandaki eylemlerin rahatça gerçekleştirilebilmesi açısından önem taşımaktadır. Kapalı bir mekanda yapay aydınlatma düzeni oluşturulurken aydınlığın dağılımını ve aydınlık düzeyi değişimlerini belirleyen başlıca parametreler hacmin boyutları, iç yüzeylerin ışık yansıtma çarpanları, aydınlatma aygıtlarının ışık yeğnlik dağılımı vb. olarak sıralanabilir. Bu çalışmada söz konusu parametrelerin çalışma düzlemi üzerindeki yapay aydınlığın düzgün yayılmışlığına etkisi açık planlı ofis örneği üzerinde incelenmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Aydınlatma aygıtı, ışık yeğnlik dağılımı, aydınlığın düzgün yayılmışlığı, enerji kullanımı, açık planlı ofis.

1. GİRİŞ

Mekanların işlevine bağlı olarak gerçekleştirilen eylemler çok çeşitli olup her değişik eylem için aydınlatma gereksinimleri birbirinden ayrımlar gösterir. Bu nedenle, her eylemin kendine özgü gereksinimleri doğrultusunda farklı aydınlatma düzenleri oluşturulmalıdır. Bu düzenler tasarlanırken, aydınlığın hem nicelik hem de nitelik boyutu dikkate alınmalıdır. Aydınlightın nicelik boyutu, belli bir büyüklükteki alana düşen ışık akısının, bu alana bölümü olup aydınlık düzeyi terimi ile ifade edilir [1, 2]. Anlaşılması çok kolay olan aydınlığın niceliği ile ilgili hesaplamalar da oldukça kolay yapılıdır. Aydınlightın, nicelikten daha da önemli olan nitelik boyutu ise aydınlığı oluşturan ışığın, niceliği dışındaki başka özellikleri ile ilgilidir. Örneğin, belli büyüklükteki bir alana düşen ışık akısının niceliği değiştirilmeden (aynı tutularak), ışığın rengi, doğrultusu ve/veya alan üzerindeki dağılımı değiştirilebilir.

Aydınlığın niteliği ile ilgili olarak, aydınlığı oluşturan ışığın,

- alan üzerindeki dağılımı, aydınlık düzeyi değişimleri,
- doğrultusu ve oluşturduğu gölgeler,
- rengi/tayfsal yapısı

olarak sıralanabilen özellikleri, aydınlatma tasarımlarında önemle üzerinde durulması gereken konulardır [3, 4].

Bu çalışmada, önce aydınlığın niteliğine ilişkin özelliklerden “aydınlık düzeyi değişimleri” konusu kısaca ele alınmış ardından, düzlemde aydınlığın düzgün yayılmışlığını etkileyen parametrelerden hacmin boyutları, iç yüzeylerin ışık yansıtma çarpanları ve aydınlatma aygıtlarının ışık yeğnlik dağılımları bağlamında açık planlı ofis örneği üzerinde irdelemeler yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. AYDINLIK DÜZEYİ DEĞİŞİMLERİ ve İLGİLİ PARAMETRELER

Belli büyüklükteki bir alana/yüzeye düşen ışık akısının niceliği değiştirilmeden ışığın yüzeydeki dağılımı değişebilir. Bir başka anlatımla, söz konusu alan üzerindeki ortalama aydınlık aynı kalırken, aydınlığın dağılımı düzgün, değişken ya da bölge vurgulamalı özellikte olabilir. Bu nedenle, bir nitelik konusu olan aydınlık düzeyinin alan üzerindeki dağılışı biçimi ile ilgili olan aydınlığın dağılımındaki değişimler, aydınlatılan alanın mimari özelliklerine ve kullanılışı biçimine göre düzenlenmelidir. Aydınlığın dağılımındaki değişimler, gerek dış gerekse iç aydınlatma konuları açısından uygun ışık mimarisinin kurulabilmesi için önemle üzerinde durulmasını zorunlu kılar.

Bir düzlem üzerindeki aydınlık düzeyi dağılımındaki değişimler, ilkesel olarak,

- genel aydınlatma ve
- bölgesel aydınlatma

olarak adlandırılan iki temel durum ile açıklanır [3, 4, 5].

Konu iç aydınlatma açısından ele alındığında,

- **Genel aydınlatma**, kapalı bir mekanın tümünün aydınlatılmasıdır. Bu aydınlatma biçimi, düzgün yayılmış ya da düzgün yayılmamış-değişken yayılmış- olabilir. Düzgün yayılmış genel aydınlatmada, aydınlatılan alan üzerindeki aydınlık, düzlemin her noktasında hemen hemen aynı düzeydedir. Aydınlığın düzgün yayılmış olması, düzlemin her noktasında eş değerde ve eş türde eylemin yapılabileceğinin göstergesidir. Bu nedenle, derslikler, açık planlı ofisler, spor salonları gibi mekanın tamamında aynı türden eylemlerin yapıldığı ortamlarda düzgün yayılmış genel aydınlatma uygulanır.

Aydınlanan alan üzerindeki aydınlık düzeyinin bölgeden bölgeye ayrımlar göstermesi, yani aydınlık düzeyinin kimi yerlerde yüksek kimi yerlerde alçak olması ve bu değişimlerin alanın tümünü kaplaması durumu ise değişken yayılmış genel aydınlatma olarak adlandırılır. Banka, ofis, hastane gibi yapıların bekleme salonları, otel lobileri, konser ve tiyatro yapılarının fuayeleri gibi mekanlarda değişken yayılmış genel aydınlatmanın oluşturulması, mekanın kullanılışı biçimini vurgulamanın yanı sıra enerji tasarrufu açısından da yararlıdır.

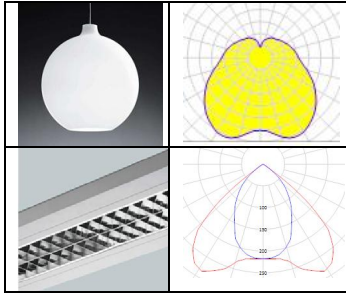
- **Bölgesel aydınlatma**, mekanın belli bir bölgesini vurgular bir başka anlatımla belli bir bölgede özel alan kullanımını tanımlar. Bu aydınlatma biçimi genelde eğlence, dinlenme, konut mekanları gibi bireysel eylemlerin ağırlık kazandığı ortamlarda uygulanır. Bölgesel aydınlatmayı değişken yayılmış genel aydınlatma farklı kılan özel kullanımlar, işlevsel ayrımların olduğu yerler, çevrelerine göre daha yüksek aydınlık düzeyi gerektiren eylemler, dikkat çekmek ve kullanıcıları yönlendirmeyi hedefleyen durumlar vb. olarak sıralanabilir.

Kapalı bir hacimde yer alan belli büyüklükteki bir düzlem üzerindeki yapay aydınlık düzeyi dağılımını belirleyen parametreler temelde hacme ve aydınlatma aygıtına özgü özellikler olarak iki ayrı grupta ele alınarak,

- Hacme özgü özellikler, mekanın boyutları (eni, boyu, yüksekliği), mekan iç yüzeylerinin ve donatılarının yansıtma çarpanları (açıklık-koyuluğu) ile ışık yansıtma biçimleri (mat-parlak oluşu), donatıların (masa, dolap vb. engellerin) konum ve boyutları vb.,
- aydınlatma aygıtına özgü özellikler, aygıtların konumu (tavan, duvar, döşeme), düzleme olan uzaklıkları (yükseklikleri), sayıları ve ışıksal özellikleri (aydınlatma biçimleri -

dolaysız, dolaylı vb.-, ışık yeğinlik dağılımları, geriverimleri vb.) olarak sıralanabilir [6].

Aydınlatma aygıtları aracılığıyla lambanın yayımladığı ışığın dağılımı gereği gibi biçimlendirilebilir ve değişik amaçlara yönelik aydınlıklar oluşturulabilir. Aydınlatma aygıtından çıkan ışığın dağılımı, aygıt ve yansıtıcının geometrik özelliklerine ve kullanılan gereçlerin yansıtma/geçirme biçimlerine göre değişik özellikler kazanır [6, 7]. Örneğin opal gereçli küresel bir aygıt ile paletli doğrusal bir aygıttan çıkan ışığın dağılımları birbirinden ayrımlar gösterecektir (Şekil 1).



Şekil 1. Aydınlatma aygıtı ışık yeğinlik dağılımı örnekleri [8, 9].

3. ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ ve KABULLER

Çalışmada belli özellikteki bir mekanda, kimi parametreler sabit tutularak, çalışma düzlemi üzerindeki aydınlığın düzgün yayılmışlığının incelenmesi hedeflenmiştir. Belirtilen hedef doğrultusunda, uygulanan yöntemin adımları aşağıda sıralanmıştır.

- Aydınlık dağılımının düzgün olmasını gerektirecek bir işlev seçimi,
- Mekan özelliklerinin belirlenmesi,
- Yapay aydınlatma düzeni özelliklerinin belirlenmesi,
- Aygıt ışık yeğinlik diyagramına ilişkin güncel seçeneklerin oluşturulması,
- Çalışma düzlemi üzerindeki aydınlık düzeyi hesaplarının yapılması,
- Çalışma düzlemi üzerinde oluşturulan aydınlığın düzgün yayılmışlığının ilgili

literatür değerleri bağlamında değerlendirilmesi,

- Aydınlatma düzenlerinin enerji harcamalarının irdelenmesi.

İşlev olarak, açık planlı mimarlık ofisi seçilmiştir. Mekanda 16 kişinin yer aldığı, gerçekleştirilen eylemlerin bilgisayar ortamında yapılan çalışmalar olduğu kabul edilmiştir. Mekan boyutları ve iç yüzey yansıtma çarpanları için iki ayrı alternatif (H1, H2; R1, R2) belirlenmiştir. Hacim boyutları H1 için 8.00×8.00×2.50m, H2 için 10.00×10.00×2.50m'dir. Bu tür mekanlar için genel eğilimler doğrultusunda iç yüzeylerin yansıtma çarpanları tavan, duvar ve döşeme için sırasıyla R1 için 0.70, 0.50, 0.20, R2 için 0.85, 0.65, 0.20 kabul edilmiştir. Donatıların ışık yansıtma çarpanı 0.50; çalışma düzlemi yüksekliği 0.80 m olarak alınmıştır. Işık yansıtma biçimi bakımından iç yüzey ve donatılar mat (izotrop yayınlık yansıma) varsayılmıştır. Şekil 2'de verilen örnek plan üzerinde görüldüğü gibi, masaların bakış doğrultusuna paralel konumlanmış, eşit adımlarla tavan yüzeyine tespit edilmiş doğrusal aydınlatma aygıtları ile dolaysız aydınlatma düzeni oluşturulmuştur.

Aydınlatma düzenleri, mekanda gerçekleştirilen eylemler doğrultusunda "TS EN 12464-1:2009- Işık ve Işıklendirme- İş Mahallerinin Aydınlatılması - Bölüm 1:Kapalı Alandaki İş Mahalleri" başlıklı standartta önerilen ortalama aydınlık düzeyi (E_{ort}) ve düzgün yayılmışlık oranı ($U_0=E_{min}/E_{ort}$) değerleri dikkate alınarak tasarlanmış ve değerlendirilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Sağlanması önerilen minimum aydınlatma koşulları [10].

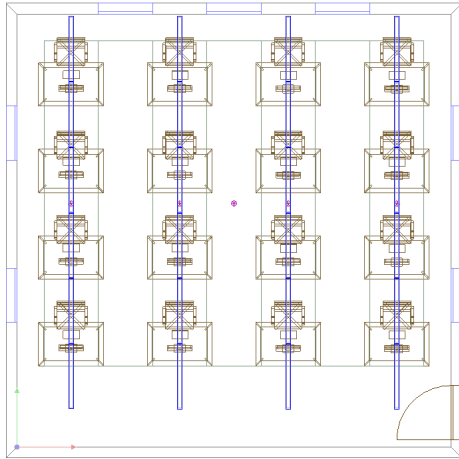
Eylem Türü	E_{ort}	U_0	R_a
Bilgisayar destekli çalışma birimleri (CAD work stations)	500	0,6	80

Güncel kataloglardan aydınlatma aygıtları alternatifleri belirlenmiştir. Bu belirlemeler

yapılırken, aygıtların boyut, ışık akısı, geriverim, vb. özellikleri bakımından birbirine oldukça yakın doğrusal flüoresan (F) ve LED (L) ışık kaynaklı, ışık yeğinlik diyagramları açısından pantolon bacağı ve küresel biçimde olmasına özen gösterilmiştir. Bu bağlamda,

- 3 adet doğrusal flüoresan lambalı ve paletli aygıt (FP1, FP2, FP3),
- 1 adet doğrusal flüoresan lambalı ve opal yayıcılı aygıt (FO1),
- 2 adet LED'li ve opal yayıcılı aygıt (LO1, LO2)

olmak üzere toplam altı adet aydınlatma aygıtı belirlenmiştir. Işık yeğinlik dağılımı paletli aygıtlarda (FP1, FP2, FP3, FP4) pantolon bacağı opal aygıtlarda (FO1, FO2, LO1, LO2) küresel biçimdedir. Söz konusu aygıtların özellikleri Tablo 2 ve 3'te sunulmuştur [11, 12, 13].

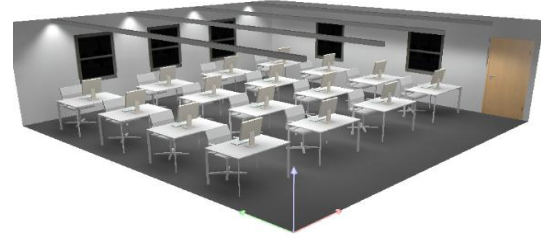


Şekil 2. Ofis tefrişi ve aygıt yerleşim planı örneği.

Seçilen aygıtlardan oluşturulan aydınlatma düzenlerinin çalışma düzleminin tümü (genel çalışma düzlemi; GÇ) ile yalnızca masa dizilerinin yer aldığı dört özel çalışma düzlemi (ÖÇ1, ÖÇ2, ÖÇ3, ÖÇ4) üzerindeki

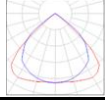
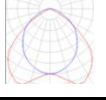
- ortalama aydınlık düzeyleri (E_{ort}) ve
- düzgün yayılmışlık oranları ($U_0 = E_{min}/E_{ort}$)

Dialux 4.11 Aydınlatma Programı kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca düzenlerin enerji harcamaları da hesaplanmıştır. Mekanların görselleştirilmesine ilişkin bir örnek Şekil 3'te sunulmuştur.

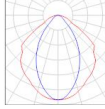
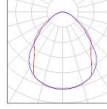
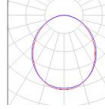


Şekil 3. Dialux 4.11 programında modellenen açık planlı ofis örneği.

Tablo 2. Paletli flüoresan lambalı (FP1, FP2, FP3) aygıtların özellikleri.

Aygıt tipi	FP1	FP2	FP3
Aygıt adedi	24	24	20
Aygıt modeli	PHILIPS TBS411 1xTL5-28W HFP C8	FAGERHULT 26953 NOTOR G2 Ceiling Lamell 1xT16 28W	DEXTRA Duet Linear DUE136 HF LB
Aygıt boyutu	1197x90x90mm	1173x60x60mm	1258x250x80mm
Aygıt geriverimi	0.74	0.708	0.661
Lamba türü	Doğrusal Flüoresan	Doğrusal Flüoresan	Doğrusal Flüoresan
Lamba gücü	28 W	28 W	36 W
Lamba ışık akısı	2625 lm	2600 lm	3350 lm
Toplam ışık akısı	46620 lm	44194 lm	44312 lm
Renksel geriverim sınıfı RGS	1B	1B	1B
Aygıt resmi			
Işık yeğinlik dağılımı			

Tablo 3. Opal yayıclı flüoresan lambalı (FO1) ve LED'li (LO1, LO2) aygıtların özellikleri.

Aygıt tipi	FO1	L01	L02
Aygıt adedi	24	24	24
Aygıt modeli	FAGERHULT 29556 Closs Maxi Lamell direct 1xT16 54W	PHILIPS BBS411 W9L120 1xLED24/830 LIN-PC	FAGERHULT 26374 NOTOR LED cont 1xLED Noc24 22W
Aygıt boyutu	1217x150x66mm	1197x90x75mm	1168x60x60mm
Aygıt geriverimi	0.438	1	1
Lamba türü	Doğrusal Flüoresan	LED	LED
Lamba gücü	54 W	27 W	22 W
Lamba ışık akısı	4450 lm	2000 lm	1871 lm
Toplam ışık akısı	46767 lm	48000 lm	44904 lm
Renksel geriverim sınıfı RGS	1B	1B	1B
Aygıt resmi			
Işık yeğinlik dağılımı			

4. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME

Çalışma kapsamında seçilen altı tip aygıtın,

- iki hacim boyutu (H1, H2),
- iki iç yüzey yansıtma çarpanı (R1, R2) ve hacimlerin tefrişsiz ve tefrişli olmaları koşullarında, genel ve dört çalışma düzlemi üzerinde oluşturduğu
- ortalama aydınlık düzeyleri (E_{ort}) ve
- düzgün yayılmışlık oranları ($U_0=E_{min}/E_{ort}$)

48 ayrı durum için hesaplanmıştır.

Aygıtlar, yayımladıkları toplam ışık akıları ve ışık yeğinlik dağılım biçimleri dikkate alınarak Tablo 4'te verilen biçimde gruplandırılarak hesap sonuçları karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir. İkili gruplara ilişkin hesap sonucu örnekleri Tablo 5'te sunulmuştur.

Aydınlatma düzenlerinin enerji harcaması yönünden sistem güçleri, 1 lm/m^2 aydınlık düzeyini sağlamak için harcanan güç ($W/(lm/m^2)$) ve 1 m^2 için harcanan güç değerleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 4. Aygıt tipi gruplamaları.

İkili grup	Aygıt tipi
K1	FP1-FO1
K2	FP2-FO1
K3	FP1-LO1
K4	FP2-LO2
K5	FP3-LO2

Tablo 5. K4 (FP2 ve LO2) grubu için ortalama aydınlık düzeyi (E_{ort}) ve düzgün yayılmışlık oranları ($U_0=E_{min}/E_{ort}$).

Hacim boyutu	Yansıtma çarpanı	Tefriş durumu	FP2 (Paletli, flüoresan lambalı aygıt)					LO2 (Opal yayıcılı, LED’li aygıt)					
				Çalışma düzlemi					Çalışma düzlemi				
				GÇ	ÖÇ1	ÖÇ2	ÖÇ3	ÖÇ4	GÇ	ÖÇ1	ÖÇ2	ÖÇ3	ÖÇ4
H1; 8.00×8.00×2.50m	R1, 70/50/20	Tefrişsiz	E _{ort}	590	513	594	594	513	572	550	616	616	550
			U ₀	0,66	0,76	0,78	0,78	0,76	0,71	0,74	0,78	0,78	0,74
		Tefrişli	E _{ort}	575	478	556	557	479	553	506	569	569	506
			U ₀	0,46	0,50	0,51	0,51	0,51	0,53	0,53	0,53	0,52	0,54
	R2, 85/65/20	Tefrişsiz	E _{ort}	616	542	619	619	542	602	583	645	645	583
			U ₀	0,69	0,80	0,79	0,79	0,80	0,76	0,77	0,78	0,78	0,77
		Tefrişli	E _{ort}	601	505	580	581	506	584	538	598	598	537
			U ₀	0,48	0,53	0,53	0,53	0,54	0,55	0,56	0,55	0,54	0,56
H2; 10.00×10.00×2.50m	R1, 70/50/20	Tefrişsiz	E _{ort}	482	443	483	483	443	467	487	527	527	487
			U ₀	0,70	0,78	0,78	0,78	0,78	0,66	0,73	0,76	0,76	0,73
		Tefrişli	E _{ort}	470	411	450	449	410	453	448	485	484	446
			U ₀	0,35	0,50	0,52	0,52	0,49	0,44	0,55	0,55	0,55	0,53
	R2, 85/65/20	Tefrişsiz	E _{ort}	499	462	500	500	462	486	508	544	544	508
			U ₀	0,71	0,79	0,79	0,79	0,79	0,68	0,76	0,78	0,78	0,76
		Tefrişli	E _{ort}	487	429	466	465	428	472	467	502	502	466
			U ₀	0,37	0,52	0,53	0,53	0,51	0,46	0,56	0,55	0,56	0,54

Tablo 6. Aygıtların enerji kullanımı.

Aygıt	Toplam Işık Akısı (lm)	Sistem Gücü (W)	Mekan Boyutu	Yansıtma Çarpanı / $(W/(lm \cdot m^2)) / W/m^2$
FP1	46620	768	H1	R1 / 2,13 / 12,00
				R2 / 2,04 / 12,00
			H2	R1 / 2,00 / 7,68
				R2 / 1,93 / 7,68
FP2	44194	720	H1	R1 / 2,22 / 11,25
				R2 / 2,10 / 11,25
			H2	R1 / 2,07 / 7,20
				R2 / 1,97 / 7,20
FP3	44312	720	H1	R1 / 2,17 / 11,09
				R2 / 2,06 / 11,09
			H2	R1 / 2,03 / 7,10
				R2 / 1,94 / 7,10
FO1	46767	1392	H1	R1 / 3,99 / 21,75
				R2 / 3,80 / 21,75
			H2	R1 / 13,75 / 13,92
				R2 / 3,58 / 13,92
LO1	48000	648	H1	R1 / 1,83 / 10,13
				R2 / 1,73 / 10,13
			H2	R1 / 1,70 / 6,48
				R2 / 1,62 / 6,48
LO2	44904	528	H1	R1 / 1,68 / 8,25
				R2 / 1,57 / 8,25
			H2	R1 / 1,55 / 5,28
				R2 / 1,46 / 5,28

Ortalama aydınlık düzeyi (Eort) ve aydınlığın düzgün yayılmışlığına (Uo) ilişkin hesaplama bulgularının gruplar bağlamında karşılaştırmalı değerlendirmesi kısaca aşağıda gibi verilebilir.

K1 (FP1-FO1) durumu: Flüoresan lambalı opal yayıcı aygıtların (küresel ışık yeğirlikli; FO1) hacim boyutu, iç yüzey yansıtma çarpanı değişimi ve tefriş durumundan bağımsız olarak, tüm koşullarda genel çalışma düzlemi üzerinde sağladığı ortalama aydınlık düzeyi değerleri (Eort), paletli aygıtların (pantolon bacağı biçiminde ışık yeğirlikli; FP1) oluşturduğu değerlere göre ~%3-4 oranında daha düşüktür. FO1 aygıtının özel çalışma düzlemleri üzerinde oluşturduğu ortalama aydınlık düzeyi değerleri ise FP1 aygıtının oluşturduğu ortalama aydınlık düzeylerinden ~%5-12 oranında yüksektir.

Yine tüm koşullarda FO1 aygıtının genel ve özel çalışma düzlemleri üzerinde

oluşturduğu düzgün yayılmışlık oranı (Uo) değerleri, FP1 aygıtının oluşturduğu düzgün yayılmışlık oranı değerlerinden ~%3-30 oranında daha yüksektir.

K2 (FP2-FO1) durumu: Flüoresan lambalı opal yayıcı FO1 aygıtının genel ve özel çalışma düzlemleri üzerinde oluşturduğu ortalama aydınlık düzeyi değerleri (Eort), hacim boyutu, iç yüzey yansıtma çarpanı değişimi ve tefriş durumundan bağımsız olarak, tüm koşullarda paletli flüoresan FP2 aygıtının sağladığı değerlerden ~%6-22 oranında daha yüksektir.

Tüm koşullarda FO1 aygıtının genel ve özel çalışma düzlemleri üzerinde oluşturduğu düzgün yayılmışlık oranı değerleri (Uo), FP2 aygıtının oluşturduğu düzgün yayılmışlık oranı değerlerinden ~%1-27 oranında daha yüksektir.

K3 (FP1-LO1) durumu: LED'li opal yayıcı aygıtların (küresel ışık yeğirlikli; LO1) hacim boyutu, iç yüzey yansıtma çarpanı ve tefriş durumundan bağımsız olarak tüm koşullarda genel çalışma düzlemi üzerinde oluşturduğu ortalama aydınlık düzeyi değerleri (Eort), pantolon bacağı biçiminde ışık yeğirliğine sahip aygıtların (FP1) sağladığı değerlere göre ~%1-2 oranında daha düşüktür.

Özel çalışma düzlemleri üzerindeki ortalama aydınlık düzeyi değerleri (Eort) ise LO1 için ~ %10-16 oranında daha yüksektir.

Öte yandan, iç yüzey yansıtma çarpanından bağımsız olarak hacim boyutu ve tefriş durumuna göre düzgün yayılmışlıktaki (Uo) değişim ~%10 oranında, kimi zaman FP1, kimi zaman ise LO1 lehine artış göstermektedir.

K4 (FP2-LO2) durumu: K4 durumunda elde edilen bulgular, K3 durumuna büyük bir benzerlik göstermektedir. Hacim boyutu, iç yüzey yansıtma çarpanı değişimi

ve tefriş durumundan bağımsız olarak tüm koşullarda genel çalışma düzlemi üzerinde oluşan ortalama aydınlık düzeyi değerleri (Eort), paletli FP2 aygıtı için opal yayıcıli LED'li LO2 aygıtı değerlerinden ~% 2-4 oranında daha yüksektir.

Özel çalışma düzlemleri üzerindeki ortalama aydınlık düzeyi değerleri (Eort) ise LO2 aygıtı için ~ % 2-10 oranında daha yüksektir.

Aydınlığın düzgün yayılmışlığındaki (Uo) değişim, iç yüzey yansıtma çarpanından bağımsız olarak hacim boyutu ve tefriş durumuna göre, kimi zaman FP1, kimi zaman ise LO1 için ~%20 oranında artış göstermektedir

K5 (FP3-LO2) durumu: K5 durumunda hacim boyutu, iç yüzey yansıtma çarpanı ve tefriş durumundan bağımsız olarak tüm koşullarda paletli flüoresan lambalı, aygıtların (FP3) genel çalışma düzlemi üzerinde oluşturduğu ortalama aydınlık düzeyi değerleri (Eort) , LED'li opal aygıtların (LO2) oluşturduğu ortalama aydınlık düzeyi değerlerinden ~%6-8 oranında daha yüksektir.

Öte yandan, iç yüzey yansıtma çarpanı, hacim boyutu ve tefriş durumlarından bağımsız olarak özel çalışma düzlemleri üzerindeki düzgün yayılmışlık (Uo) değişimi ~% 1-3 oranında, kimi zaman FP3, kimi zaman ise LO2 lehine artış göstermektedir.

Tüm koşullarda LO2 aygıtının genel ve özel çalışma düzlemleri üzerinde oluşturduğu düzgün yayılmışlık oranı değerleri (Uo), FP3 aygıtının oluşturduğu değerlerden yüksek olmakla birlikte tefrişsiz durumlarda artış ~%3-23 oranında iken, tefrişli durumlarda ~%23-51 oranlarına çıkmaktadır.

Aydınlatma düzenlerinin enerji harcaması yönünden sistem güçleri, 1 1m/m² aydınlık düzeyini sağlamak için harcanan güç (W/(lm/m²)) ve 1 m² için harcanan güç (W/m²) değerlerinin yer aldığı Tablo 6'daki bulgular incelendiğinde,

- Hacim boyutu, iç yüzey yansıtma çarpanı ve tefriş durumundan bağımsız olarak, paletli flüoresan lambalı aygıtlar (pantolon bacağı biçiminde ışık yeğirlikli),
 - Flüoresan lambalı, opal aygıtlara göre (küresel ışık yeğirlikli) 1 lm/m² aydınlık düzeyi sağlamak için harcanan güç miktarı açısından (W/(lm/m²)) ~%46 ve 1 m² için harcanan güç miktarı (W/m²) açısından ~%47 daha az enerji harcamaktadır.
 - LED'li opal aygıtlara göre (küresel ışık yeğirlikli) 1 lm/m² aydınlık düzeyi sağlamak için harcanan güç miktarı açısından (W/(lm/m²)) ve 1 m² için harcanan güç miktarı (W/m²) açısından ise ~%25 daha fazla enerji harcamaktadır.
- Hacim boyutlarının değiştiği, iç yüzey yansıtma çarpanlarının değişmediği durumda 1 lm/m² aydınlık düzeyi sağlamak için harcanan güç miktarı (W/(lm/m²)) ve 1 m² için harcanan güç miktarı (W/m²);
 - Aygıt türünden bağımsız olarak hacim boyutları büyüdükçe azalmakta, hacim boyutu küçüldükçe artmaktadır.
- Hacim boyutlarının değişmediği, iç yüzey yansıtma çarpanlarının değiştiği durumda ;
 - Aygıt türünden bağımsız olarak 1 m² harcanan güç (W/m²) sabit kalırken, iç yüzey yansıtma çarpanları büyüdükçe 1 lm/m² aydınlık düzeyi sağlamak için harcanan güç miktarı (W/(lm/m²)) azalırken iç yüzey yansıtma çarpanları küçüldükçe 1 lm/m² aydınlık düzeyi sağlamak için harcanan güç miktarı (W/(lm/m²)) artmaktadır.

5. SONUÇ

Kapalı bir mekandaki belli bir yüzey üzerindeki yapay aydınlık düzeyinin temel belirleyicileri, ışık kaynaklarından gelen dolaysız ışık ve dolaysız ışığın peş peşe

yansımasıyla oluşturduğu yansımış ışıktır. Bu bağlamda kapalı bir mekanın yüzeylerindeki yapay aydınlık düzeyi ve dağılımını etkileyen parametreler temelde hacme ve aydınlatma aygıtına özgü özellikler olarak iki grupta toplanır.

Bu bildiride çalışma düzlemi üzerindeki aydınlığın düzgün yayılmışlığını etkileyen parametrelerin hacim boyutları, iç yüzey yansıtma çarpanları, aygıt ışık yeğirlik dağılımı ve sistem enerji kullanımı bağlamında açık planlı bir ofis örneği üzerinde irdelenmesi hedeflenmiştir.

Belirlenen hedef doğrultusunda 3. bölümde açıklandığı üzere 16 kişinin çalışabildiği açık planlı bir ofisin 2 değişik hacim boyutu, 2 ayrı iç yüzey yansıtma çarpanları ve 2 farklı biçimde ışık yeğirlik dağılımına sahip toplam altı değişik aydınlatma aygıtının kullanıldığı aydınlatma düzenleri oluşturulmuştur. Bu düzenlerin tümünde TS EN 12464-1'de önerilen minimum 500 lm/m² ortalama aydınlık düzeyi ve 0,60 düzgün yayılmışlık oranı değerinin sağlanması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında incelenen düzenlere ilişkin 4. bölümdeki değerlendirmeler kısaca aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Aydınlatma düzenlerinde aygıtların genel ve özel çalışma düzlemleri üzerinde oluşturduğu **ortalama aydınlık düzeyleri (Eort)**, hacim boyutlarının küçüldüğü, iç yüzey yansıtma çarpanlarının arttığı ve tefrişsiz durumlarda diğer durumlara göre daha yüksektir.
- Aydınlatma düzenlerinde aygıtların genel ve özel çalışma düzlemleri üzerinde oluşturduğu **düzgün yayılmışlık oranları (Uo)** hacim boyutu ve iç yüzey yansıtma çarpanı değişimlerinden bağımsız olarak tefrişsiz durumda tefrişli duruma göre daha yüksektir.
- Aydınlatma düzenlerinde hacim boyutu, iç yüzey yansıtma çarpanı ve tefrişten bağımsız olarak **genel çalışma düzlemi** üzerinde paletli aygıtların

oluşturduğu ortalama aydınlık düzeyleri opal yayıcı aygıtların oluşturduğu aydınlık düzeyi (**Eort**) değerlerine göre daha yüksektir. Özel çalışma düzlemleri üzerinde ise opal yayıcı aygıtların oluşturduğu ortalama aydınlık düzeyleri (**Eort**) daha yüksektir.

- Aydınlatma düzenlerinde hacim boyutu, iç yüzey yansıtma çarpanı ve tefrişten bağımsız olarak **genel ve özel çalışma** düzlemleri üzerinde opal yayıcı aygıtların oluşturduğu düzgün yayılmışlık oranı (**Uo**) değerleri paletli aygıtların oluşturduğu değerlere göre daha yüksektir. Ancak, tefrişli hesaplamalarda paletli aygıtın (pantolon bacağı biçiminde ışık yeğirliği) ve opal yayıcı aygıtın (küresel ışık yeğirliği) kullanılması durumları için aydınlığın düzgün yayılmışlığı (**Uo**) değerleri arasında belirgin bir fark saptanamamıştır. Bu durum, mekanın kapalı olması nedeniyle aygıttan çıkan ışığın iç yüzeylerden peş peşe yansıması sonucunda yaptığı katkıya bağlı olduğu biçiminde açıklanabilir.

- Aydınlatma düzenlerinin enerji kullanımı (sistem güçleri) açısından paletli flüoresan lambalı aygıtlar, opal yayıcı flüoresan lambalı aygıtlara göre daha az enerji harcamaktadır. LED'li aygıtlar ile oluşturulan aydınlatma düzenlerinde ise flüoresan lambalı aygıtlar ile oluşturulan aydınlatma düzenlerine göre daha az enerji harcanmaktadır. Enerji harcaması açısından, LED'li kaynakların flüoresan lambalara göre daha avantajlı olduğu belirlenmiştir. Ancak, kataloglarda LED'li aygıtların geriverimlerinin 1 olarak verilmesi ve sistem kayıplarının yer almaması düşündürücü bulunmuştur.

Çalışmada sunulan temel bilgiler ve ele alınan ofis mekanı aydınlatma tasarım önerileri bağlamında yapılan hesaplama bulguları, ofis ve benzer eylemlerin gerçekleştirildiği hacimlerde oluşturulacak

aydınlatma düzenleri için dikkat edilmesi gereken kriterler konusunda katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. SİREL, Ş., Aydınlatma Terimleri Sözlüğü, YEM Yayın, ISBN 975-7438-44-8, İstanbul, 1997.
2. IES, The Lighting Handbook, 10th Edition, ISBN 978-087995-241-9, USA, 2011.
3. SİREL, Ş., Aydınlığın Niteliği <http://www.yfu.com/booklet-4.htm>.
4. ÜNVER, R., İç Mekandaki Gölgelelerin Düzenlenmesi, Tasarım, ISSN: 1300-7351, Sayı 110, ss.112-115, Nisan 2001.
5. ÜNVER, R., Görsel Konfor ve Aydınlatma, VI. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, ISBN 978-605-01-0203-1, EMO Yayın No: SK/2011/6, ss.127-138, Altındağ Grafik Matbaacılık, İzmir, 24-25 Kasım 2011.
6. ÜNVER, R., Kapalı Hacimlerde Lamba Işığının Yatay Düzlemde Oluşturduğu Aydınlığın ve Aygıt Geriveriminin Hesaplanması, YÜ Mim. Fak., Üniversite Yayın No. 223, YÜ Mim Fak., Yayın No: MF-MİM 91.010, 1991.
7. ÖZTÜRK, L. D., İç Mimari Aydınlatmada, Düzgün Yansıma Geometrisi ile Aydınlığın Denetlenmesinde Kullanılabilecek Yeni Bir Yöntem Önerisi, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 1995.
8. DIALux 4.11, Louis Poulsen Plug-in.
9. DIALux 4.11, Arcluce Plug-in.
10. TS EN 12464-1: Işık ve Işıklandırma İş Mahallerinin Aydınlatılması - Bölüm 1: Kapalı Alandaki İş Mahalleri, 2009.
11. DIALux 4.11, Philips Plug-in.
12. DIALux 4.11, Fagerhult Plug-in.
13. DIALux 4.11, Dextra Plug-in.