



Hacim ve Aygıt Özelliklerinin Aydınlığa Etkisinin Açık Planlı Ofis Örneğinde İncelenmesi

Effects of Volume and Lighting Equipment Features on Lighting in An Open Plan Office: An Analysis

Kasım ÇELİK, Esra KÜÇÜKİLİÇ ÖZCAN, Rengin ÜNVER

ÖZET

Günümüzde mekanların, işlevsel ve estetik olmasının yanında fizik ortam öğeleri açısından kullanıcı konforuna yönelik uygun koşulları sağlaması gereklidir. Konfor koşullarının sağlanması, eylemlerin zorlanmadan, yorulmadan ve uzun süre verimli bir biçimde gerçekleştirilebilmesi açısından önemlidir. Söz konusu 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 niceliğinin (düzeyinin) yanı sıra aydınlığın niteliğiyle ilgili özellikler, ışığın rengi, doğrultusu, aydınlığın dağılımı, aydınlık düzeyi değişimleri, kamaşma vb. konular, mekandaki eylemlerin rahatça gerçekleştirilebilmesi açısından önem taşımaktadır. Kapalı bir mekanda yapay aydınlatma düzeni oluşturulurken, aydınlığın dağılımını ve aydınlık düzeyi değişimlerini belirleyen başlıca parametreler aydınlatma aygıtlarının konum ve ışık yeghnlık dağılımları, hacmin boyutları, iç yüzeylerin ışık yansıtma çarpanları vb. olarak sıralanabilir. Bu çalışmada söz konusu parametrelerin, çalışma düzlemi üzerindeki yapay aydınlığın düzeyi, düzgün yayılmışlığı ile aydınlatma sisteminin kamaşma değerlerine ve enerji kullanımına etkisi açık planlı ofis örneği üzerinde incelenmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

ABSTRACT

In today's spaces, there is a need for appropriate conditions in terms of elements of the physical environment, and also with respect to function and aesthetics. Conditions of comfort are important in order for the activities taking place in the space to be performed without any difficulty, fatigue or inefficiency. One such condition of comfort is lighting, an element of the physical environment. Any design of a lighting scheme and its quantity and quality should be based on the requirements of the scheme's users and their activities. In this context, not only the illumination itself but also its specifications, such as color, direction, distribution, changes in level and glare are important for preformation of activities. In a lighting design, luminance distribution and level depends on parameters such as location and illuminance intensity distributions, dimension of space and reflectivity of interior surfaces. This paper examines the case of an open plan office, and evaluates and analyzes the effects of the above-mentioned parameters on artificial illuminance levels, uniform distribution of illuminance, glare values and energy use in lighting schemes.

Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul.
Department of Architecture, Yıldız Technical University Faculty of Architecture, Istanbul, Turkey.

Başvuru tarihi: 07 Temmuz 2014 (Article arrival date: July 07, 2014) - Kabul tarihi: 23 Ekim 2014 (Accepted for publication: October 23, 2014)

İletişim (Correspondence): Kasım ÇELİK. **e-posta** (e-mail): kasimc@yildiz.edu.tr

© 2015 Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi - © 2015 Yıldız Technical University, Faculty of Architecture

Giriş

Uluslararası Aydınlatma Komisyonu'nun (International Commission on Illumination, CIE) tanımına göre, aydınlatma "nesnelere, bunların çevrelerine, ya da bir bölgeye, bir kent bölgesine, gereği gibi görülebilmeleri için ışık uygulaması" dır. Bu tanımdan yola çıkılacak olursa, aydınlatma ışığın uygulanmasıdır. Işığı uygulamak "ışığı konunun özelliklerine göre biçimlendirmek"tir. Işığı biçimlendirmek ise aydınlatma tekniğinin tüm gereksinimleri sağlayabilecek düzenler kurmak, aydınlatma tekniğine uygun tasarımlar yapmak, ışık mimarisi oluşturmaktır. Bir başka anlatımla, aydınlatma için ışığa gereksinim vardır, aydınlatmanın temel malzemesi ışıktır. Öte yandan, mekanların işlevine bağlı olarak gerçekleştirilen eylemler çok çeşitli olup her değişik eylem için aydınlatma gereksinimleri birbirinden ayrımlar gösterir. Bu nedenle, ışık her mekanın ve her eylemin kendine özgü gereksinimleri doğrultusunda biçimlendirilmeli, yani mekan ve eylem özelliklerine uygun aydınlatma düzenleri oluşturulmalıdır.

Kapalı mekan aydınlatması ele alındığında yapay ışığın biçimlendirilmesi açısından, kullanılacak iki ayrı ışık kaynağı vardır. Bunlardan birincisi aydınlatma düzeninde kullanılan lambalar/aydınlatma aygıtları ve diğeri ise mekanın iç yüzeyleri ve donatılarıdır. Aydınlatma aygıtları hem aydınlığın niceliği ve niteliğiyle ilgili mekandaki temel gereksinimleri karşılamalı hem de kullanıldığı mekanın mimarisiyle bütünleşmelidir. İç yüzeyler ise gerek ışık yansıtma çarpanı (açıklık-koyuluk) gerekse ışık yansıtma biçimi (matlık-parlaklık) açılarından ışığın gereği gibi biçimlenmesine katkı sağlayacak özellikte seçilmelidir. Bir başka anlatımla, aydınlatma tasarımcısı mekanın işlev ve kullanıcı özelliklerini de dikkate alarak hem aygıt hem de iç yüzey özelliklerini belirlemelidir. Örneğin, ışığın biçimlenmesi açısından mekan yüzeylerinin mat olması ışığın yayınmasını, açık renkli olması aydınlık düzeyinin artmasını sağlayacaktır.

Aydınlatma konusu için aydınlatma aygıtları seçilirken teknik ve estetik özellikleri ayrıntılı olarak incelemeli, değerlendirilmeli ve uygun olanlar seçilmelidir. Bu özellikler aydınlatma aygıtının,

- aydınlatma biçimi,
- ışık yeğinlik dağılımı,
- geriverimi,
- içinde kullanılan lamba türü,
- gereç ve geometrik özellikleri,
- mimariye estetik uyumu

vb. olarak sıralanabilir.

Günümüzde, bilim ve teknolojilerdeki ilerlemeler

her alanda olduğu gibi aydınlatma alanına da yansımış, aygıt üreticileri tarafından teknik ve estetik bakımdan çok değişik özellikteki birçok neredeyse sayısız denilebilecek kadar çok aygıt kullanıma sunulmuştur. Burada önemli olan aydınlatma tasarımcısının bu kadar çok seçeneğin içinden amacına uygun olanı belirlemesidir. Ancak, aygıtların teknik, estetik ve ekonomik çeşitliliği, aydınlatma tasarımcılarının aygıtların özelliklerini sistemli bir biçimde inceleme, birbirleriyle karşılaştırılma ve değerlendirme sürecini etkilemekte ve çalışmanın uzamasına yol açmaktadır. Bu nedenle, uygulamada aydınlatma aygıtı belirleme/seçim işlemleri, genelde yeterli aydınlık düzeylerini sağlayan aygıtlar arasından, ekonomik sınırlamalara göre yapılmaktadır.

Konu kapalı bir hacimde yer alan belli büyüklükteki bir düzlem üzerindeki yapay aydınlığın özelliklerini belirleyicilik bağlamında ele alındığında etkin parametreler temelde hacme ve aydınlatma aygıtına özgü özellikler olarak iki ayrı grupta toplanır. Nitekim bu çalışmada yukarıda sözü edilen duruma bir örnek oluşturmak amacıyla, işlev ve özellikleri belli olan bir hacimde kullanılacak aygıtların aydınlatma sektöründeki firmaların güncel üretimleri dikkate alınarak belirlenmesi, sonuçların aydınlatma tekniği bakımında önemli olan parametreler yönünden incelenmesi, karşılaştırılması ve değerlendirmesi hedeflenmiştir. Belirtilen amaç doğrultusunda, makalede önce aydınlatma tasarım parametrelerinden "aydınlık düzeyi, aydınlığın dağılımı ve kamaşma" konuları ile enerji kullanımına yönelik kısa bilgiler verilmiştir. Bunların ardından aydınlatma biçimi, ışık yeğinlik dağılımı ve lamba türü açısından farklı özellikteki güncel aydınlatma aygıtları, iki farklı hacim boyutu ve iç yüzey yansıtma çarpanı için, açık planlı bir ofis örneği üzerinde, "aydınlık düzeyi, aydınlığın dağılımı, kamaşma ve enerji kullanımı parametreleri" açısından irdelenmiş ve elde edilen bulgular karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Böylece, aydınlatma tasarımı için tasarımcıya yardımcı olabilecek bir yöntem ve kimi veriler sunulmuştur.

Aydınlatma Tasarımı Parametreleri

Bir mekanda aydınlatma tasarımı yapılırken, aydınlığın hem nicelik hem de nitelik boyutu dikkate alınmalıdır. Aydınlatmaya yönelik güncel standart ve yönetmeliklerde mekan ve kullanıcı özelliklerine bağlı olarak sağlanması gereken aydınlığın nitelik ve nicelik özellikleri yer almaktadır. Aydınlığın, nicelikten daha da önemli olan nitelik boyutu aydınlığı oluşturan ışığın, niceliği (azlık- çokluğu) dışındaki başka özellikleri ile ilgilidir. Örneğin, belli büyüklükteki bir alana düşen ışık akısının niceliği değiştirilmeden (aydınlık düzeyi aynı tutularak), aydınlatan 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 ve aydınlatma konusu için gerekli koşulları oluşturacak biçimde belirlenmesi gereken konulardır.¹

Bu çalışmada temelde aydınlatma aygıtlarının çeşitli özelliklerinin aydınlığın niceliği ve niteliğiyle ilgili kimi aydınlatma tasarım parametrelerine etkilerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda sözü edilen parametreler ve enerji kullanımı konusu kısaca aşağıdaki gibi açıklanabilir.

Aydınlık Düzeyi (E ; lm/m^2) ve Işıklılık (L ; cd/m^2)

Bir yüzeyin, bir noktasını çevreleyen küçük bir parçacığının aldığı ışık akısının, bu yüzey parçacığının alanına bölümü "Aydınlık Düzeyi (E ; lm/m^2)" olarak tanımlanır.² Aydınlik düzeyi gereksinimleri, yapılan eylem ve kullanıcı özelliklerine göre değişik değerlerdedir. Nitekim, ülkemizde yürürlükte olan "TS EN 12464-1: Işık ve Işıklandırma - İş Mahallerinin Aydınlatılması - Bölüm 1:Kapalı Alandaki İş Mahalleri" başlıklı standartta değişik işlev ve eylemler için sağlanması gereken aydınlık düzeyi değerleri yer almaktadır.

Belli büyüklükteki bir alana/yüzeğe düşen ışık akısının niceliği değiştirilmeden ışığın yüzeydeki dağılımı ile birlikte aydınlığın niteliği de değiştirilebilir. Bir başka anlatımla, söz konusu alan üzerindeki ortalama aydınlık aynı kalırken, aydınlığın dağılımı düzgün, değişken ya da bölgesel 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 kullanılış biçimine göre düzenlenmelidir. Aydınlığın dağılımındaki değişimler, gerek dış gerekse iç aydınlatma konuları açısından uygun ışık mimarisinin kurulabilmesi için önemle üzerinde durulmasını zorunlu kılar.

Aydınlık düzeyi gözle görülebilir bir büyüklük değildir. İnsanlar, nesnelerin yansıtma çarpanı özelliklerine bağlı olarak aydınlık konusunda bilgi edinirler. Gözle görülebilen aydınlık ile ilgili olan büyüklük "İşıklılık" olarak adlandırılmaktadır. Belirli bir yüzey üzerindeki aydınlık azalınca yüzeyin ışıklılığı düşer ve yüzey daha koyu görünür.

Söz konusu bir noktayı çevreleyen sonsuz küçük bir yüzey parçacığının, verilmiş doğrultudaki ışık yeğlinliği-

nin, bu yüzey parçacığının verilmiş doğrultuya dik bir düzlem üzerindeki izdüşümünün alanına bölümü "Işıklılık" olarak tanımlanır.³

Aydınlığın dağılımı (U_0)

Bir yüzeyde, en düşük aydınlık düzeyinin (E_{min}), ortalama aydınlık düzeyine (E_{ort}), oranını gösteren büyüklük "Aydınlığın Dağılımı (U_0 ; E_{min}/E_{ort})" olarak tanımlanır.⁴ "TS EN 12464-1: Işık ve Işıklandırma - İş Mahallerinin Aydınlatılması - Bölüm 1: Kapalı Alandaki İş Mahalleri" başlıklı Türkiye'de yürürlükte olan standartta değişik işlev ve eylemler için sağlanması gereken aydınlık dağılımı değerleri verilmiştir. Aydınlığın düzgün yayılmış olması, aydınlatılan 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 bir aydınlık oluşturulması gereklidir.

Kamaşma (UGR)

Kamaşma, hacimlerdeki görsel konforu olumsuz yönde etkileyen etkenlerden biri olup ışıklılıkların uygun olmayan dağılımları ya da aşırı bir karışıklık sonucu, nesnelerin ya da bunların ayrıntılarının ayırt edilmesinde bir yetenek eksikliği ya da bir güçlük, bir sıkıntıya yol açan görme koşulları şeklinde tanımlanabilir.⁵ Ülkemizde yürürlükte olan "TS EN 12464-1: Işık ve Işıklandırma - İş Mahallerinin Aydınlatılması - Bölüm 1: Kapalı Alandaki İş Mahalleri" başlıklı standartta değişik işlev ve eylemler için aşılması gereken kamaşma değerleri yer almaktadır.

Görsel konforun olumsuz yönde etkilenmesi hacimlerdeki iş veriminin de düşmesine yol açmaktadır. Bu nedenle yapay aydınlatma tasarımlarındaki aygıtın özelliğine ve konumuna bağlı olarak değişen kamaşma değerleri, aygıt seçimi ve kullanımı açısından önemli bir etkidir.

Enerji Kullanımı

Bir mekanda yer alan yapay aydınlatma düzeninde enerji kullanımı, iki ayrı biçimde tanımlanır. Bunlardan birincisi m^2 başına harcanan enerji miktarını gösteren (W/m^2) aydınlatma güç yoğunluğudur. Diğeri ise aydınlatma düzeninin belli büyüklükteki bir alan üzerinde oluşturduğu aydınlık düzeyi için harcanan elektrik enerjisidir ($W/(lm/m^2)$). Bir başka anlatımla, $1 lm/m^2$ aydınlık düzeyini sağlamak için harcanan güç ($W/(lm/m^2)$) değeri sistem gücünün ne kadar verimli kullanıldığını ortaya koyar.

Yapay aydınlatma düzenlerinin sistem güçleri aynı

¹ Ünver, 2001, s. 113.

² Sirel, 1997, s. 12.

³ Sirel, 1997, s. 78.

⁴ Sirel, 1997, s. 12.

⁵ Sirel, 1997, s. 90.

Tablo 1. Aydınlatma güç yoğunluğu değerleri (ASHRAE, 2013)⁶

Bina tipi	Aydınlatma güç yoğunluğu (Lighting power density, W/m ²)
Yatakhane	6.13
Ofis	8.84
Hotel	9.36
Dini yapılar	10.76
Kongre merkezi	10.87
Müze	10.98
Hastane	11.30
Kütüphane	12.80
Mağaza	13.56

Tablo 2. Hacim boyutları ve iç yüzey yansıtma çarpanı değerleri

				İç yüzey yansıtma çarpanları					
				Döşeme	Duvar	Tavan	Döşeme	Duvar	Tavan
				0.20	0.50	0.70	0.20	0.65	0.85
				R1			R2		
Hacim Boyutları (m)	En	8.00	H1	H1-R1			H1-R2		
	Boy	8.00							
	Yükseklik	2.50							
Hacim Boyutları (m)	En	10.00	H2	H2-R1			H2-R2		
	Boy	10.00							
	Yükseklik	2.50							

olmasına karşın, sağladıkları aydınlık düzeyleri birbirinden ayrımlar gösterebilir. Bu nedenle, belli bir aydınlık düzeyi için harcanan elektrik enerjisinin ($W/(lm/m^2)$) olabildiğince az olması sağlanmalıdır. Buna paralel olarak bazı yapılar için m^2 başına harcanması gereken ortalama enerji değerleri (W/m^2) ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) tarafından yayınlanan standartlarda Tablo 1'deki gibi verilmiştir.

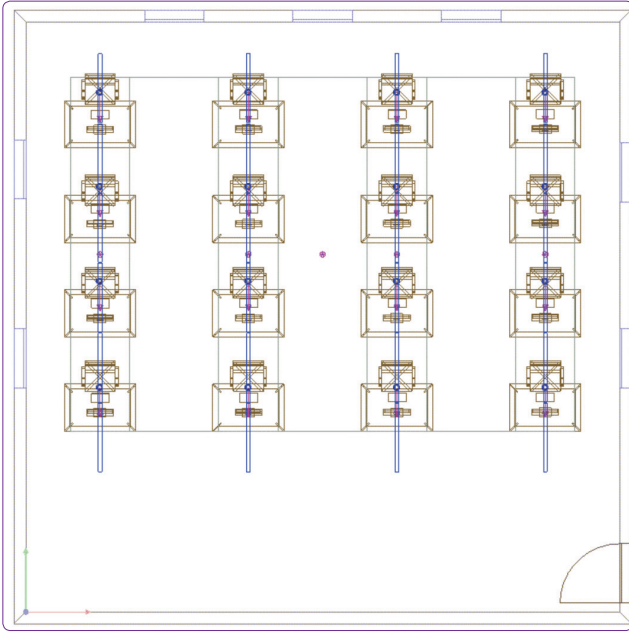
Yöntem ve Kabuller

Bu makalede belli bir işlevdeki hacmin iki ayrı boyut ve iki ayrı iç yüzey yansıtma çarpanı olması durumu için aydınlatma sektöründeki güncel firmaların üretimleri dikkate alınarak belirlenen aygıtlar ile oluşturulan düzenlerin aydınlatma tekniği bakımından önemli kimi parametreler yönünden incelenmesi, sonuçlarının karşılaştırılması ve değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

Belirtilen amaç doğrultusunda, uygulanan yöntemin adımları aşağıda sıralanmıştır.

- Aydınlık dağılımının düzgün olmasını gerektirecek bir işlev seçimi,
- Mekan özelliklerinin belirlenmesi,
- Yapay aydınlatma düzeni özelliklerinin belirlenmesi,
- Güncel üretici kataloglarından aydınlatma aygıtı ışık yeğinlik diyagramı dikkate alınarak benzer aygıt seçeneklerin belirlenmesi,
- Çalışma düzlemi üzerindeki aydınlık düzeyi (E_{min} , E_{ort} , E_{max}) hesaplarının yapılması,
- Çalışma düzlemi üzerinde oluşturulan aydınlığın ve düzgün yayılmışlığının (U_0) ilgili literatür değerleri bağlamında değerlendirilmesi,
- Kamaşma (UGR) değerlerinin literatür değerleri bağlamında değerlendirilmesi,
- Aydınlatma düzenlerinin enerji harcamalarının irdeelenmesi.

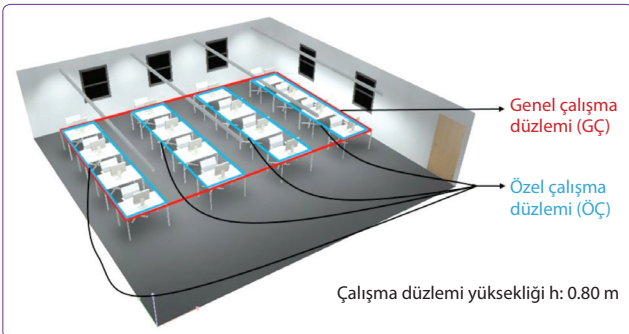
⁶ ASHRAE, 2013, s. 94.



Şekil 1. Ofis tefrişi ve aygıt yerleşim planı örneği.

İşlev olarak, açık planlı mimarlık ofisi seçilmiştir. Mekan 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 olarak alınmıştır (Tablo 2).

Ülkemizde yürürlükte olan “TS EN 12464-1: Işık ve Işıklandırma - İş Mahallerinin Aydınlatılması - Bölüm 1: Kapalı Alandaki İş Mahalleri” başlıklı standartta, ofis mekanları için verilen iç yüzeylerin yansıtma çarpanlarında yararlanılarak tavan, duvar ve döşeme için sırasıyla R1 için 0.70, 0.50, 0.20, R2 için 0.85, 0.65, 0.20 kabul edilmiştir (Tablo 2). Donatların ışık yansıtma çarpanı 0.50; çalışma düzlemi yüksekliği 0.80 m olarak alınmıştır. Işık yansıtma biçimi bakımından iç yüzey ve donatların mat özellikte olduğu ve izotrop yayınlık yansıma yaptığı varsayılmıştır.



Şekil 2. Dialux 4.12 programında modellenen açık planlı ofis.

Tablo 3. Sağlanması önerilen minimum aydınlatma koşulları⁷

Eylem türü	E_{ort} (lm/m ²)	UGR	U_0 (E_{min}/E_{ort})	Ra
Bilgisayar destekli çalışma birimleri (CAD work stations)	500	<19	0,6	80

Aydınlatma düzeni, Şekil 1’de verilen örnek plan üzerinde görüldüğü gibi masaların bakış doğrultusuna paralel konumlanmış, eşit adımlarla tavan yüzeyine tespit edilmiş doğrusal aydınlatma aygıtlarından oluştuğu varsayılmıştır.

Aydınlatma düzenleri, mekanda gerçekleştirilen eylemler doğrultusunda “TS EN 12464-1: Işık ve Işıklandırma-İş Mahallerinin Aydınlatılması-Bölüm 1: Kapalı Alandaki İş Mahalleri” başlıklı standartta önerilen minimum ortalama aydınlık düzeyi (E_{ort}) ve düzgün yayılmışlık oranı ($U_0; E_{min}/E_{ort}$) değerleri dikkate alınarak tasarlanmıştır (Tablo 3).

Aydınlatma düzenindeki aygıtlar güncel üretici kataloglarından, uygulamada sıklıkla karşılaşılan dolaysız, yarı dolaysız ve yayınlık aydınlatma biçimine sahip olanlardan seçilmiştir. Bu belirlemeler yapılırken, aygıtların boyut, ışık akısı, geriverim, ışık rengi, ışık yeğnilik dağılımı vb. özellikleri bakımından birbirine oldukça yakın doğrusal flüoresan (F) ve LED (L) ışık kaynaklı olmasına özen gösterilmiştir. Işık yeğnilik dağılımı, paletli aygıtlarda (FP1, FP2, FP3) pantolon bacağı opal aygıtlarda (FO1, LO1, LO2) küresel biçimdedir ve bu aygıtlar dolaysız aydınlatma biçimine sahiptir. DA1, DA2 aygıtları ise yayınlık ve yarı dolaysız aydınlatma biçimine sahiptir. Söz konusu aygıtların özellikleri Tablo 4, 5 ve 6’ta sunulmuştur [11, 12, 13].

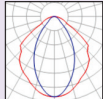
Seçilen aygıtlarla oluşturulan düzenlerin sağladığı koşulların ayrıntılı incelenebilmesi amacıyla, biri hacmin tümünü kapsayan döşemeden 0.80 m yüksekliğindeki “genel çalışma düzlemi (GÇ)”, diğeri yalnızca masa dizilerine özgü döşemeden 0.80 m yüksekliğindeki dört adet “özel çalışma düzlemi (ÖÇ1, ÖÇ2, ÖÇ3, ÖÇ4)” belirlenmiştir. Bu bağlamda düzenin genel çalışma düzlemi ve özel çalışma düzlemleri üzerindeki ortalama aydınlık düzeyleri (E_{ort}), düzgün yayılmışlık oranları ($U_0 = E_{min}/E_{ort}$), kamaşma değerleri (UGR) ve enerji harcamaları Dialux 4.12 Aydınlatma Programı kullanılarak belirlenmiştir. Mekanların görselleştirilmesine ilişkin bir örnek Şekil 2’de sunulmuştur.

⁷ TS EN 12464-1, 2009, s. 32.

Tablo 4. Paletli flüoresan lambalı (FP1, FP2, FP3) aygıtların özellikleri (*toplam ışık akısı: hacimde kullanılan aygıtların tümünün sağladığı ışık akısı)

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 yeğnlik dağılımı			

Tablo 5. Opal yayıclı flüoresan lambalı (FO1) ve LED'li (LO1, LO2) aygıtların özellikleri. (*toplam ışık akısı: hacimde kullanılan aygıtların tümünün sağladığı ışık akısı)

Aygıt tipi	FO1	LO1	LO2
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 yeğnlik dağılımı			

Bulgular ve Değerlendirme

Çalışma kapsamında, iki ayrı hacim boyutu (H1, H2), iki farklı iç yüzey yansıtma çarpanından (R1, R2) oluşan 4 farklı durum (H1-R1, H1-R2, H2-R1, H2-R2) için, genel

ve dört özel çalışma düzlemi üzerinde, 8 farklı aydınlatma aygıtının (FP1, FP2, FP3, FO1, LO1, LO2, DA1, DA2) oluşturduğu;

- ortalama aydınlık düzeyleri (E_{ort}),

Tablo 6. Yayınık ve yarı dolaysız aydınlatma sağlayan paletli flüoresan lambalı (DA1, DA2) aygıtların özellikleri. (*toplam ışık akısı: hacimde kullanılan aygıtların tümünün sağladığı ışık akısı)

Aygıt tipi	DA1	DA2
Aygıt adedi	24	24
Aygıt modeli	FAGERHULT 206350 Como Pendant Lamell single (direct/indirect) 1xT16 28W	FAGERHULT 26725 Closs Terazza Direct/Indirect 1xT16 28 W
Aygıt boyutu	1198x200x87mm	1220x125x55 mm
Aygıt geriverimi	0.748	0.774
Lamba türü	Doğrusal Flüoresan	Doğrusal Flüoresan
Lamba gücü	28 W	28 W
Lamba ışık akısı	2600 lm	2600 lm
Toplam ışık akısı*	46728 lm	48336 lm
Renksel geriverim sınıfı RGS	1B	1B
Aygıt resmi		
Işık yeğinlik dağılımı		

- düzgün yayılmışlık oranları ($U_0 = E_{\min} / E_{\text{ort}}$),
- kamaşma değerleri (UGR)
- enerji kullanımları

Dialux 4.12. programında 32 ayrı senaryo için hesaplamalar yapılmıştır. Hacimlerdeki aydınlatma aygıtı sayısı bütün senaryolar için sabit tutulmuştur.

Elde edilen bulgular “genel çalışma düzlemi ortalama aydınlık düzeyi (E_{ort}), özel çalışma düzlemlerindeki ortalama aydınlık düzeyi ($E_{\text{özel}}$), genel çalışma düzleminde aydınlığın dağılımı ($U_{\text{özel}}$), özel çalışma düzlemlerindeki aydınlığın dağılımı ($U_{\text{özel}}$), ortalama kamaşma değerleri (UGR), enerji kullanımları için $W/(lm/m^2)$ ve W değerleri olarak” Tablo 7, 8, 9 ve 10’da sunulmuştur. Söz konusu tablolarda standartlarca belirlenen değerleri sağlayan durumlar koyuyla yazılmıştır.









Çalışma kapsamındaki kabuller doğrultusunda yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçların Tablo 3’te verilen “TS EN 12464-1: 2009-Işık ve Işıklandırma- İş Mahallerinin Aydınlatılması - Bölüm 1: Kapalı Alandaki İş Mahalleri” standartları kapsamında değerlendirmesi aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Genel ve özel çalışma alanlarındaki ortalama aydınlık düzeyleri ($E_{\text{ort genel}}$, $E_{\text{ort özel}}$) açısından aygıtların sağladığı değerler incelendiğinde;
- Aydınlatma aygıtları genel olarak, 8x8x2,5m boyutlarındaki H1 hacminde iki farklı iç yüzey yansıtma çarpanının kullanılması (H1-R1, H1-R2) du-

rumlarında standartlarca belirlenmiş değerleri sağlamıştır. 10x10x2,5m boyutlarındaki H2 hacminde ise yansıtma çarpanından bağımsız olarak sadece FO1, LO1 ve FP1 aygıtları olması gereken değerleri sağlamıştır.

- Genel ve özel çalışma alanlarındaki aydınlık dağılımları ($U_{\text{özel}}$, U_{genel}) açısından aygıtların sağladığı değerler incelendiğinde;
- Yayınık ve yarı dolaysız aydınlatma sağlayan aygıtlar (DA1, DA2) oluşturulan 4 durum (H1-R1, H1-R2, H2-R1, H2-R2) için genel olarak standartlarca belirlenen değerleri sağlamıştır. Dolaysız aydınlatma biçimine sahip aygıtlar ise tüm durumlarda olması gereken değerlerin altında kalmıştır.
- Ortalama kamaşma değerleri (UGR) açısından aygıtların sağladığı değerler incelendiğinde;
- Aydınlatma aygıtlarının sağladığı değerlerin genel olarak tümü 4 durum için, standartlarda belirtilen kamaşma değerlerini sağlamıştır.
- $1 lm/m^2$ elde etmek için tüketilen enerji ($W/(lm/m^2)$) miktarları açısından aygıtların sağladığı değerler incelendiğinde;
- LED lambalı aygıtlar hacim boyutu ve iç yüzey yansıtma çarpanından bağımsız olarak, flüoresan lambalı aygıtlara göre tüm durumlarda daha az enerji harcamaktadır.
- Aygıtların m^2 başına harcadıkları enerji miktarları

Tablo 7. H1-R1 (8x8m-70/50/20) durumu için elde edilen değerler

Aygıt adı	Aygıt ışık yeğinlik dağılımı	H1-R1 (8x8m-70/50/20)							
		E_{ort} (lx)	$E_{özel}$ (lx)	U_0 genel	U_0 özel	UGR	Enerji (W/(lm/m ²))	Enerji (W/m ²)	Sistem gücü (W)
FP1		636	560	0.44	0.49	16	2.13	12.00	768
FP2		575	518	0.46	0.51	17	2.22	11.25	720
FP3		600	547	0.35	0.4	13	2.17	11.09	710
FO1		615	609	0.57	0.57	12	3.99	21.75	1392
LO1		626	626	0.5	0.54	18	1.83	10.13	648
LO2		553	538	0.53	0.53	19	1.68	8.25	528
DA1		461	465	0.63	0.65	10	2.72	11.25	720
DA2		536	479	0.61	0.63	12	2.32	11.25	720

(W/m²) açısından sağladığı değerler incelendiğinde;

- LED lambalı aygıtların m² başına harcadıkları enerji miktarları hacim boyutu ve iç yansıtma çarpanından bağımsız olarak, tüm durumlar için flüoresan lambalı aygıtların değerlerine göre daha azdır.
- Aygıtlar aydınlatma biçimlerine göre değerlendirildiğinde;
 - Hacim boyutu ve iç yüzey yansıtma çarpanından bağımsız olarak yayınlık ve yarı dolaysız aydınlatma biçimine sahip aygıtların genel ve özel çalışma düzlemleri üzerinde oluşturduğu düzgün yayılmışlık oranı (U_0) değerleri, dolaysız aydınlatma biçimine sahip aygıtların sağladığı değerlerden yüksektir.
 - Dolaysız aydınlatma sağlayan aygıtların genel ve özel çalışma düzlemleri üzerindeki oluşturduğu ortalama aydınlık düzeyi (E_{ort}) değerleri hacim bo-









yutu ve iç yüzey yansıtma çarpanından bağımsız olarak yayınlık ve yarı dolaysız aydınlatma biçimine sahip aygıtların oluşturduğu değerlere göre yüksektir.

- Yayınlık ve yarı dolaysız aydınlatma sağlayan aygıtlar sistem gücü açısından, flüoresan lambalı paletli aygıtlar ile yaklaşık olarak aynı miktarda enerji harcarken, flüoresan lambalı opal aygıtlara göre ise daha az enerji harcamaktadır.
- LED'li dolaysız aydınlatma sağlayan aygıtlar ise, flüoresan lambalı dolaysız, yarı dolaysız ve yayınlık aydınlatma biçimine sahip aygıtlara göre daha az enerji harcamaktadırlar.

Genel Değerlendirme ve Sonuç

Kapalı bir mekandaki belli bir yüzey üzerindeki yarı aydınlığın temel belirleyicileri ışık kaynaklarından gelen dolaysız ışık ve dolaysız ışığın peşpeşe yansımalarıyla oluşturduğu yansımış ışıktır. Konu, ışığı biçimlendirmek açısından ele alındığında, kapalı bir hacimdeki

Tablo 8. H1-R2 (8x8m-85/65/20) durumu için elde edilen değerler

Aygıt adı	Aygıt ışık yeğlilik dağılımı	H1-R2 (8x8m-85/65/20)						Enerji (W/(lm/m ²))	Enerji (W/m ²)	Sistem gücü (W)
		E _{ort} (lx)	E _{özel} (lx)	U ₀ genel	U ₀ özel	UGR				
FP1		660	584	0.46	0.52	16	2.04	12.00	768	
FP2		601	543	0.48	0.53	16	2.1	11.25	720	
FP3		626	572	0.38	0.44	12	2.06	11.09	710	
FO1		642	635	0.59	0.59	11	3.8	21.75	1392	
LO1		655	653	0.51	0.56	18	1.73	10.13	648	
LO2		584	568	0.55	0.55	19	1.57	8.25	528	
DA1		518	517	0.65	0.68	10	2.4	11.25	720	
DA2		587	529	0.64	0.67	13	2.1	11.25	720	

yapay aydınlığın özellikleri 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 yeğlilik dağılımları, geriverimleri vb.)

olarak sıralanabilir.⁸ Bir başka anlatımla, hacim ve aydınlatma aygıtı özellikleri değiştikçe elde edilen sonuçlarda değişir.

Çalışmada belli bir işlevdeki hacmin iki ayrı boyut ve iki ayrı iç yüzey yansıtma çarpanı olması durumu için aydınlatma sektöründeki firmaların güncel üretimleri dikkate alınarak belirlenen aygıtlar kullanılarak oluşturulan düzenlerin aydınlatma tekniğinin kimi parametreleri bağlamında incelenmesi, sonuçlarının karşılaştırılması ve değerlendirmesi hedeflenmiştir. Belirlenen hedef doğrultusunda 3. bölümde açıklandığı üzere 16 kişinin çalışabildiği açık planlı bir ofisin 2 değişik hacim boyutu (H1, H2), 2 ayrı iç yüzey yansıtma çarpanları (R1, R2) ve 3 farklı aydınlatma biçimine sahip toplam 8 (FP1, FP2, FP3, FO1, LO1, LO2, DA1, DA2) adet aydınlatma aygıtının kullanıldığı aydınlatma düzenleri oluşturulmuştur. Bu düzenlerin tümünde TS EN 12464-1'de önerilen minimum 500 lm/m² ortalama aydınlık düzeyi, maksimum 19 kamaşma değeri ve 0,60 düzgün yayılmışlık oranı değerinin sağlanması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında incelenen düzenlere ilişkin 4. Bölümde yapılan değerlendirmeler hacim özellikleri ve aygıt ışık yeğlilik dağılımı için kısaca aşağıdaki gibi özetlenebilir.

⁸ Ünver, 1991, s. 4-6.

Tablo 9. H2-R1 (10x10m-70/50/20) durumu için elde edilen değerler

Aygıt adı	Aygıt ışık yeğinlik dağılımı	H2-R1 (10x10m-70/50/20)						Enerji (W/(lm/m ²))	Enerji (W/m ²)	Sistem gücü (W)
		E _{ort} (lx)	E _{özel} (lx)	U _o genel	U _o özel	UGR				
FP1		518	492	0.39	0.5	17	2	7.68	768	
FP2		470	430	0.35	0.51	18	2.07	7.20	720	
FP3		492	471	0.34	0.41	13	2.03	7.10	710	
FO1		503	524	0.39	0.59	13	3.75	13.92	1392	
LO1		514	558	0.47	0.55	19	1.7	6.48	648	
LO2		453	466	0.44	0.55	21	1.55	5.28	528	
DA1		368	383	0.67	0.69	10	2.6	7.20	720	
DA2		436	401	0.52	0.55	14	2.17	7.20	720	

Hacim özellikleri









- İç yüzey yansıtma çarpanı ve aygıt tipinden bağımsız olarak, hacim boyutları küçüldükçe genel ve özel çalışma düzlemleri (E_{ort}, E_{özel}) üzerindeki aydınlık düzeyi ile düzgün yayılmışlık oranı değerleri (U_ogenel, U_oözel) artmaktadır.
- Hacim boyutları ve aygıt tipinden bağımsız olarak, iç yüzey yansıtma çarpanı değerleri arttıkça genel ve özel çalışma düzlemleri (E_{ort}, E_{özel}) üzerindeki aydınlık düzeyi değerleri artmaktadır.
- Kamaşma değerleri açısından, hacim boyutu, iç yüzey yansıtma çarpanı ve aygıt tipinden bağımsız olarak 4 (H1-R1, H1-R2, H2-R1, H2-R2) durum için de dikkate değer bir değişiklik olmamıştır.
- Hacim boyutu ve aygıt tipinden bağımsız olarak, iç yüzey yansıtma çarpanlarının arttığı durumlarda, 1 lm/m² için harcanan enerji miktarının (W) azaldığı görülmüştür.
- Aydınlatma güç yoğunluğu (W/m²) değerleri ise,

aygıt tipi ve iç yüzey yansıtma çarpanlarından bağımsız olarak hacim boyutu büyüdükçe azalmıştır.

Aydınlatma aygıtı özellikleri:

- Dolaysız aydınlatma biçimine sahip aygıtların (FP1, FP2, FP3, FO1, LO1, LO2) oluşturulan 4 durum (H1-R1, H1-R2, H2-R1, H2-R2) için, genel çalışma düzlemi ve özel çalışma düzlemleri üzerinde sağladığı aydınlık düzeyi değerleri dolaylı aydınlatma biçimine sahip (DA1, DA2) aygıtların sağladığı değerlerden daha yüksektir.
- Aydınlığın dağılımı açısından ise dolaylı aydınlatma biçimine sahip aygıtların sağladığı değerler, 4 durum için de dolaysız aydınlatma sağlayan aygıtların değerlerinden daha yüksektir.
- Kamaşma değerleri açısından genel olarak aygıtların tümü standartlarca belirtilen (UGR<19) değerleri sağlayarak, sınır değerinin altında kalmıştır. Bununla birlikte dolaylı aydınlatma biçimine sahip aygıtların oluşturduğu kamaşma değerlerinin, dolaylı aydın-

Tablo 10. H2-R2 (10x10m-85/65/20) durumu için elde edilen değerler

Aygıt adı	Aygıt ışık yeğinlik dağılımı	H2-R2 (10x10m-85/65/20)					Enerji (W/(lm/m ²))	Enerji (W/m ²)	Sistem gücü (W)
		E _{ort} (lx)	E _{özel} (lx)	U ₀ genel	U ₀ özel	UGR			
FP1		535	507	0.4	0.51	17	1.93	7.68	768
FP2		487	447	0.37	0.52	17	1.97	7.20	720
FP3		509	474	0.35	0.43	13	1.94	7.10	710
FO1		521	542	0.41	0.6	12	3.58	13.92	1392
LO1		533	575	0.48	0.56	19	1.62	6.48	648
LO2		472	484	0.46	0.55	20	1.46	5.28	528
DA1		413	426	0.7	0.71	10	2.3	7.20	720
DA2		472	436	0.55	0.68	13	1.98	7.20	720

latma sağlayan aygıtların değerlerine göre olumlu yönde daha düşük olduğu görülmüştür.

- Enerji tüketimi açısından (W/(lm/m²)) tüm boyut ve yansıtma çarpanları için, dolaylı aydınlatma sağlayan aygıtlar (DA1, DA2), dolaysız aydınlatma sağlayan aygıtların biri dışında (FO1) daha fazla enerji tüketimi gerçekleştirmiştir.
- ASHRAE tarafından belirlenen aydınlatma güç yoğunluğu (W/m²) değerleri açısından aygıtlar ele alındığında, H1 (8m*8m*2,5m) hacminde yalnızca LED lambalı LO2 aygıtı olması gereken değeri sağlamıştır. Hacim boyutu daha büyük olan H2 (10m*10m*2,5m) hacminde ise opal yayıncılı flüoresan lambalı FO1 aygıtı dışındaki tüm aygıtlar olması gereken değerleri sağlamıştır. Bunun nedeni FO1 aygıtının, geriverimin düşük olmasıdır (%44).

Çalışma sonucunda elde edilen tüm bulgular, hacim boyutu ve iç yüzeylerin ışık yansıtma çarpanı özelliklerinden bağımsız olarak ele alındığında aşağı-

daki gibi özetlenebilir.

- Tüm aygıtlar gerekli aydınlık düzeyini sağlamıştır. Ancak dolaysız aydınlatma biçimine sahip aygıtlarla, yarı dolaylı ve yayıncı aydınlatma biçimine sahip aygıtlara göre daha yüksek aydınlık düzeyi elde edilmiştir.
- Aydınlığın düzgün dağılımı konusunda, yayıncı ve yarı dolaysız aydınlatma biçimine sahip aygıtların, dolaysız aydınlatma sağlayan aygıtlara göre daha iyi (yüksek) sonuçlar verdiği belirlenmiştir.
- Çalışmada kullanılan tüm aydınlatma aygıtları, karmaşma açısından standartlarca belirtilmiş değerleri sağlamıştır. Bununla birlikte, yayıncı ve yarı dolaysız aydınlatma biçimine sahip aygıtlar tüm durumlarda diğer aygıtlara göre daha düşük karmaşma değerleri sağlamıştır.
- Enerji kullanımı açısından LED lambalı aygıtlar, tüm durumlarda flüoresan lambalı aygıtlara göre daha az enerji harcamıştır.

Aydınlatma alanına yönelik lamba ve aydınlatma aygıtlarındaki teknoloji gelişmeler özellikle 2000’li yıllardan sonra büyük bir hız kazanmıştır. Yapay ışık kaynağı olan mevcut lambalar, iyileştirme çalışmaları sonucunda hem aydınlatma tekniği açısından daha olumlu özelliklere kavuşmuş hem de çeşitleri çoğalmıştır. Ayrıca 1900’lü yıllarda ortaya çıkan LED’lerin ışık kaynağı olarak aydınlatma sektöründeki payı günümüzde büyük bir artış göstermiştir ve göstermektedir. 2020’de LED’lerin aydınlatma pazarındaki payının %70 olacağı öngörülmektedir. Aydınlatma aygıtları ise teknik ve estetik yönleri ile her geçen gün daha iyileşmekte ve belli bir ışık kaynağı için pek çok seçenek sunulabilmektedir.

Yapay ışık kaynağı ve aygıtlarında yaşanan bu olgu, doğal olarak aydınlatma tasarımcılarının teknik, estetik ve ekonomik açıdan kendi koşullarına uygun ışık kaynağı ve aygıt seçimi konusunda giderek daha zor karar vermelerine yol açmaktadır. Bu duruma örnek oluşturmak amacıyla yapılan bu çalışmada izlenen yöntem tasarımcılara işleve uygun bir aydınlatma düzeni oluşturma ve aygıt seçimi konusunda yön gösterici olacaktır. Ayrıca, makalede sunulan temel bilgiler ile ele alınan mekan, ışık kaynağı ve aygıt özellikleri bağlamında yapılan tasarımlar, hesaplamalar ve değerlendirmeler, ofis vb. işlevli mekanlardaki eylemler için kurulacak aydınlatma düzenleri için dikkat edilmesi gereken parametreler konusunda da katkı sağlayacaktır.

Kaynaklar

1. ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2013, (2013). “Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings”, s. 94, Atlanta, ABD.
2. IES (2011), The Lighting Handbook, 10th Edition, ISBN 978-087995-241-9, USA.
3. SİREL, Ş. (1997), Aydınlatma Terimleri Sözlüğü, YEM Yayın, ISBN 975-7438-44-8, İstanbul.
4. TS EN 12464-1 (2009), Işık ve Işıklandırma İş Mahallerinin Aydınlatılması - Bölüm 1: Kapalı Alandaki İş Mahalleri.
5. ÜNVER, R. (1991), 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.
6. ÜNVER, R. (2001), İç Mekandaki Gölgelemlerin Düzenlenmesi, Tasarım Dergisi, ISSN: 1300-7351, Sayı 110, ss. 112-115.
7. ÜNVER, R. (2011), 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.
8. DIALux 4.12 (2013), Arcluce Plug-in.
9. DIALux 4.12 (2013), Dextra Plug-in.
10. DIALux 4.12 (2013), Fagerhult Plug-in.
11. DIALux 4.12 (2013), Louis Poulsen Plug-in.
12. DIALux 4.12 (2013), Philips Plug-in.

Anahtar sözcükler: Aydınlatma aygıtı; aydınlığın düzgün yayılmışlığı; açık planlı ofis; enerji kullanımı; ışık yeğinlik dağılımı; kamaşma.

Key words: Luminaire; uniform distribution of illuminance; open plan office; energy use; illuminance intensity distribution; glare.