

LED PANEL ARMATÜRLERİN OFİS AYDINLATMASINDA RETROFİT AMAÇLI KULLANIMININ İNCELENMESİ

Emre ERKİN
erkinem@itu.edu.tr

M. Berker YURTSEVEN
byurtseven@itu.edu.tr

Önder GÜLER
onder.guler@itu.edu.tr

Sermin ONAYGİL
onaygil@itu.edu.tr

İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Planlaması ve Yönetimi ABD
Ayazağa Kampüsü, Maslak – İstanbul

ÖZET

Günümüzde taş yünü asma tavan uygulamalarında genellikle 60cmx60cm boyutları uygulandığı için, iç aydınlatma tesisatlarında 4x18W'lık flüoresan lambalı armatürler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tesisatlarda herhangi bir armatür değişikliği yapmadan sadece tüp flüoresan lambalar yerine tüp şeklindeki LED lambalar kullanılabilir. Bunun yanında, söz konusu armatürler ile bire bir değiştirilebilen 60cmx60cm boyutlarındaki LED panel armatürler de bir alternatif olarak sunulmaktadır. Bu çalışmada, 4x18W'lık flüoresan lambalı parabolik lamelli armatürler yerine önerilen LED panel armatürlerin uygulanması halinde, hacim ve çalışma düzlemindeki ortalama ve duvarlardaki düşey aydınlık düzeyleri ile düzgünlük gibi parametrelerdeki değişimler ve olası elektrik enerjisi tasarruf oranları belirlenmeye çalışılmıştır.

1. GİRİŞ

Son yıllarda LED teknolojisinde yaşanan gelişmelerle etkinlik faktörlerinin yükselmesi, fiyatların nispeten düşmesi sonucunda, iç ve dış aydınlatma amaçlı LED armatür üretimi ve kullanımı yaygınlaşmıştır. Özellikle ofis aydınlatmalarında flüoresan lambalı armatürler yerine LED esaslı armatürler sıklıkla önerilmekte ve uygulanmaktadır.

Günümüzde taş yünü asma tavan uygulamalarında genellikle 60cmx60cm boyutları uygulandığı için, iç aydınlatma tesisatlarında 4x18W'lık flüoresan lambalı parabolik lamelli armatürler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tesisatlarda herhangi bir armatür değişikliği yapmadan sadece tüp flüoresan lambalar yerine tüp şeklindeki LED lambalar da kullanılabilir [1,2]. Tüp flüoresan lambaların yerine tüp şeklinde LED lambalar kullanıldığında aydınlatma kalite kriterlerinden ödün vermeden %30 ila %45 arasında elektrik enerjisi tasarrufu elde edilebileceği ifade edilmektedir [3].

Tüp şeklinde LED lambalar ile birebir lamba değişiminin yanı sıra, yine 60cmx60cm boyutlarında opal kapaklı LED esaslı armatürler 4x18W flüoresan lambalı armatürlere alternatif olarak sunulmaktadır. Bu çalışmada, güçleri ve toplam ışık akıları

henüz standart bir şekilde verilemeyen ve değerleri üreticiden üreticiye değişen LED'li panel armatürlerden flüoresan armatürlere alternatif olabilecek olanların retrofit amaçlı kullanılması durumunda, farklı boyutlardaki ofis hacimlerinde aydınlatma kalite parametrelerinde olabilecek değişimlerin incelenmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçla, İTÜ Enerji Enstitüsü'nde bulunan bir ofis hacmindeki mevcut 4x18W'lık tüp flüoresan lambalı parabolik lamelli armatürler alternatifi olan LED'li panel armatürler ile değiştirilerek aydınlatma kriterlerindeki değişimler ile olası elektrik enerjisi tasarruf oranları deneysel olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışma kapsamında, İTÜ Enerji Enstitüsü Fotometri ve Radyometri Laboratuvarı'nda hem hacimdeki mevcut 4x18W flüoresan lambalı manyetik balastlı armatürün hem de yerine kullanılan LED'li panel armatürün toplam ışık akısı, ışık şiddeti değerleri, renk özellikleri ve elektriksel gücü ölçülmüştür. Retrofit projeler için doğru yönlendirici olması amacıyla, Dialux aydınlatma programına sadece LED'li panel armatür ölçüm sonuçları girilmiş, karşılaştırılacak flüoresan lambalı armatürün fotometrik değerleri ise üretici kataloglarından yüksek

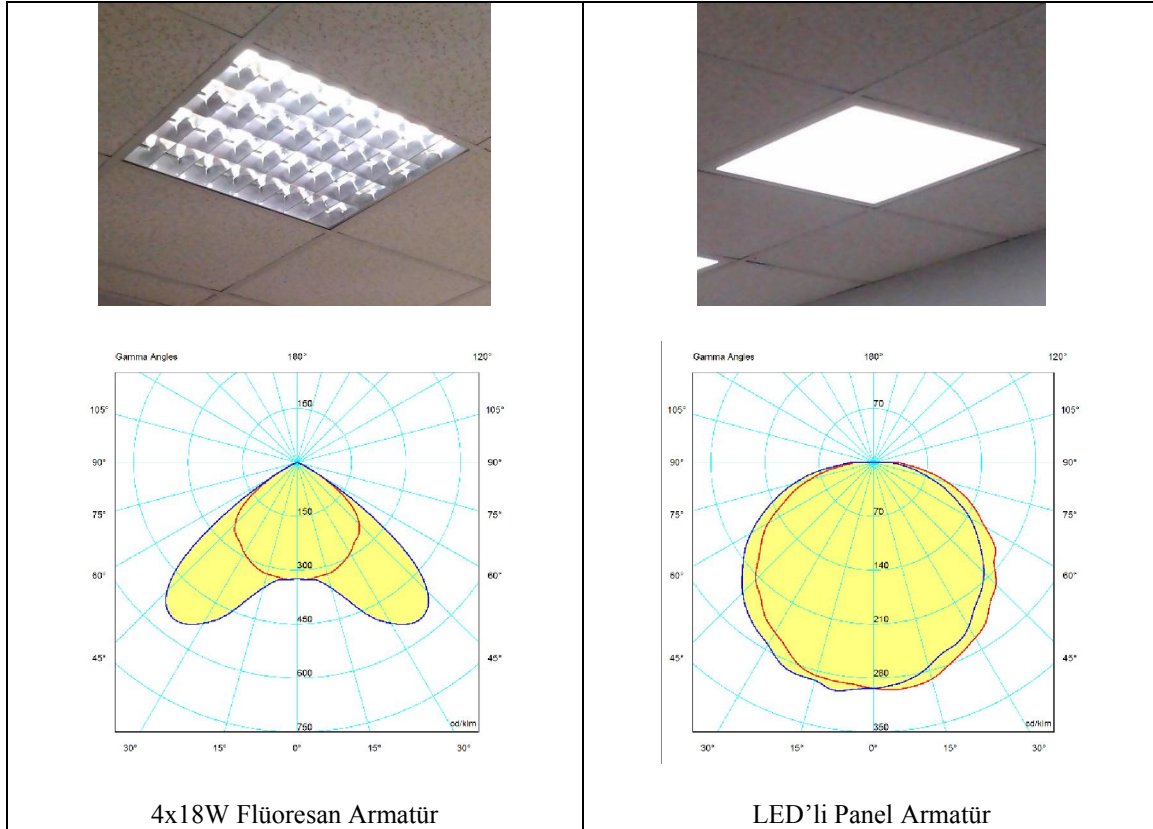
geriverimli olanlardan seçilmiştir. Aydınlatma hesapları tek kişilik bir çalışma ofisi (4mx6m) ile daha büyük bir çalışma hacminde (20mx30m) her iki armatür tipi için gerçekleştirilmiş ve sağlanacak ortalama aydınlık düzeyi, düzgünlük gibi parametrelerdeki değişimler analiz edilmiştir.

2. LABORATUVAR ÖLÇÜMLERİ

Mevcut ofis hacminde bulunan flüoresan lambalı ve yerine kullanılması hedeflenen LED'li panel armatürlerin fotometrik ve elektriksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, ışık şiddeti değerleri İTÜ Enerji Enstitüsü Fotometri ve Radyometri Laboratuvarında bulunan Radiant Imaging marka PM-1200 model gonyofotometre ile

elektriksel özellikleri ise GW-INSTEK marka GPM8212 model enerji analizörü ile ölçülmüştür. Armatürlerin toplam ışık akıları ile 18W flüoresan lambaların ışık akıları ve renk özellikleri ise Labsphere marka Ulbricht Küresinde ölçülmüştür.

Şekil 1'de 60cmx60cm boyutlarında 4x18W tüp flüoresan lambalı parabolik lamelli manyetik balastlı sıva altı ofis armatürü ile LED'li panel armatürlere ait fotoğraflar ve ışık şiddeti dağılım eğrileri, Tablo 1'de ise bu armatürlerin ölçüm sonuçları ile belirlenen fotometrik ve elektriksel özellikleri verilmiştir.



Şekil 1. 4x18W flüoresan lambalı parabolik lamelli armatür ile LED'li panel armatüre ait ışık şiddeti dağılım eğrileri

Tablo 1. Mevcut ofis hacminde bulunan 4x18W flüoresan lambalı manyetik balastlı parabolik lamelli armatür ile alternatifi olan LED’li panel armatüre ait fotometrik ve elektriksel özellikler

	Tüp Flüoresan Lambalı Armatür	LED’li Panel Armatür
Armatür gücü* (W)	88	36
Renk Sıcaklığı (K)	4000	3900
Renksel Geriverim	80	83
Armatür ışık akısı (lm)	2573	2974
Armatür Geriverimi	%48	-
Armatür etkinlik faktörü (lm/W)	29.3	82.3
Güç faktörü	0.96**	0.95

* Balast kaybı dahil; ** kompanzasyon yapılmış

Şekil 1’deki ışık şiddeti dağılım eğrilerinden, flüoresan lambalı armatür içinde üretilen ışığın parabolik lameller ile istenilen doğrultuda yönlendirildiği, LED’li panel armatürde ise opal kapak ile düzgün ve simetrik yayıldığı görülmektedir.

Tablo 1’de ise manyetik balastlı-tüp flüoresan lambalı ve LED esaslı armatürlere ait ölçülen elektriksel güç, güç faktörü, ışık akısı, etkinlik faktörü, armatür geriverimi, renk sıcaklığı ve renksel geriverim değerleri görülmektedir. Armatür içinde tekil kompanzasyon yapılmış olan manyetik balastlı tüp flüoresan lambalı armatürde güç faktörü 0.96, LED’li panel armatürde ise 0.95 olarak ölçülmüştür. Tablodan da görüldüğü üzere tüp flüoresan lambalı armatür toplam 88W güç ile armatür dışına 2573 lm ışık akısı iletirken, LED’li panel armatür 36 W güç ile toplam 2974 lm ışık akısı üretebilmektedir. Bu kapsamda, flüoresan armatürün etkinlik faktörü 29.3 lm/W iken, LED’li panel armatürün etkinlik faktörü 82.6 lm/W olarak hesaplanmıştır. Enerji verimliliği açısından ele alındığında, bu çalışma kapsamında LED’li panel armatürlerin flüoresan armatürlere göre önemli miktarda enerji tasarrufu sağlayabileceği gözükmemektedir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

LED’li panel armatürlerin ofis hacimlerinde retrofit amaçlı kullanılmasının deneysel olarak incelenmesi amacıyla, İTÜ Enerji Enstitüsü’nde bulunan 3.5mx5.2mx2.8m boyutlarındaki tek kişinin kullandığı bir ofis hacmindeki mevcut 6 adet 4x18W flüoresan lambalı, manyetik balastlı, çift parabolik lamelli armatürler birebir 6 adet LED’li panel armatürler ile değiştirilmiştir (Şekil 2).

Değişimin öncesi ve sonrasında hacim genelinde ve çalışma masası üzerindeki noktasal yatay aydınlık düzeyleri, belirlenen bir duvardaki düşey aydınlık düzeyleri, toplam güç tüketimleri ölçülmüş ve her iki durum için karşılaştırmalar yapılmıştır. Ortalama aydınlık düzeylerinin belirlenebilmesi için ölçümler, hacim genelinde 0.85 m yükseklikte 35 noktada; çalışma masasında 15 noktada ve duvar yüzeyinde ise 20 noktada yapılmıştır. Noktasal ölçümlerin ortalaması alınarak belirlenen ortalama aydınlık düzeyleri ve ölçüm sonuçları ile hesaplanan diğer değerler Tablo 2’de verilmiştir.



Şekil 2. İTÜ Enerji Enstitüsü çalışma ofisindeki mevcut ve yeni durum

Tablo 2. Retrofit çalışması ölçüm sonuçları

	4x18W TF	LED'li Panel
Güç (W)	528	216
E_{ort} hacim (lx)	787	798
U₀ hacim	0.50	0.55
Normalize Güç Yoğ. (W/m²/100lx)	3.69	1.49
E_{ort} çalışma masası (lx)	1105	942
U₀ çalışma masası	0.83	0.94
E_{ort} duvar	324	603
U₀ duvar	0.32	0.56

Tablo 2'deki değerler incelendiğinde, mevcut 4x18W flüoresan lambalı armatürler ile şebekeden toplam 528 W güç çekilirken, LED'li panel armatürler ile 216 W çekilmektedir. Buna göre, %59 oranında bir enerji tasarrufu söz konusudur. Normalize güç yoğunluğu değeri ele alındığında ise tasarruf oranı %59.6 olarak belirlenmektedir. Aydınlatma kalite kriterleri açısından bakıldığında, mevcut durumdaki 787 lx olan ortalama aydınlık düzeyinin LED'li panel armatürlerin kullanılması durumunda %1.3'lük artışla 798 lx olduğu, ortalama düzgünlüğün de 0.50'den 0.55'e yükseldiği tespit edilmiştir. Çalışma masası özelinde ortalama aydınlık düzeyi ise mevcut durumda 1105 lx iken LED'li panel armatürlerin kullanılması durumunda %15 oranında azalarak 942 lx'e düşmüştür. Buna karşılık çalışma masasında 0.83 olan ortalama düzgünlük değeri 0.94'e yükselmiştir. Düşey aydınlık düzeyi değerlerinin incelenmesi amacıyla duvar yüzeyinde yapılan ölçümler sonucunda, mevcut durum için ortalama 324 lx olan düşey aydınlık düzeyinin LED'li panel armatürlerin kullanılması durumunda 603 lx'e, yine duvar yüzeyindeki ortalama düzgünlük değerinin de 0.32'den 0.56'ya yükseldiği belirlenmiştir.

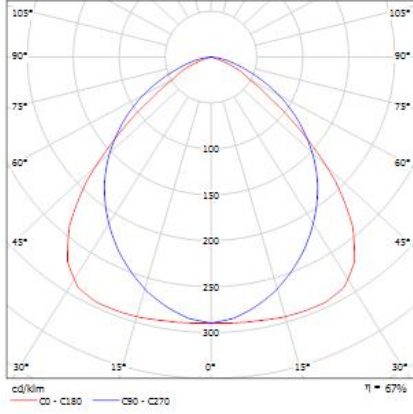
4. TEORİK ÇALIŞMA

Deneysel çalışma kapsamında değiştirilen flüoresan armatürlerin 29.3 lm/W olan etkinlik faktörünün, piyasada bulunan ve etkinlik faktörleri 50 lm/W değerlerine ulaşabilen elektronik balastlı kaliteli çift parabolik flüoresan armatürlere göre oldukça düşük olduğu görülmektedir. Çalışmanın bu bölümünde, LED'li panel armatürlerin etkinlik faktörü yüksek flüoresan armatürlerin yerine kullanılması durumunda, elde edilebilecek sonuçları incelemek amacıyla bilgisayar ortamında hesaplamalar yapılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, laboratuvar ortamında ölçülen LED'li panel armatür ile aydınlatma üreticilerinin kataloglarından seçilmiş geriverimi yüksek elektronik balastlı flüoresan armatürün fotometrik değerleri Dialux aydınlatma programına girilerek, önce tek kişilik bir çalışma ofisinde (4mx6m), daha sonra da daha büyük bir çalışma hacminde (20mx30m) aydınlatma hesapları gerçekleştirilmiştir. Dialux programına veri olarak girilen flüoresan armatüre ilişkin fotometrik ve elektriksel değerler Tablo 3'te, ışık şiddeti dağılım eğrisi de Şekil 3'te verilmektedir.

Tablo 3. Teorik hesaplarda kullanılacak tüp flüoresan armatür teknik bilgileri

	4x18W TF Arm.
Armatür gücü* (W)	69.5
Renk Sıcaklığı (K)	4000
Renksel Geriverim	80
Armatür ışık akısı (lm)	3618
Armatür geriverimi	%67
Armatür etkinlik faktörü (lm/W)	52.1
Güç faktörü	0.96

* Elektronik balastlı



Şekil 3. Teorik hesaplarda kullanılacak tüp flüoresan armatür ışık şiddeti dağılım eğrisi

4.1. 4mx6m Boyutundaki Bir Çalışma Ofisi İçin Hesaplamalar

Çalışma kapsamında ilk olarak Dialux aydınlatma programı kullanılarak 4x18W'lık

elektronik balastlı tüp flüoresan lambalı çift parabolik lamelli armatür kullanıldığı zaman 4m eninde, 6m uzunluğunda ve 3m yüksekliğinde, tavan duvar ve çalışma düzlemi yansıtma katsayıları sırasıyla %70, %50 ve %20 olan tek kişilik bir ofis için, bakım işletme faktörü 0.8 alınarak yerden 0.85 m yüksekliğindeki çalışma düzleminde ortalama 300 lx, 500 lx ve 750 lx aydınlık düzeyi elde edebilmek için gerekli armatür sayıları belirlenmiştir. Daha sonra armatür sayıları ve yerleri değiştirilmeden LED'li panel armatürlerin kullanılması sonucunda aynı hesaplamalar tekrarlanmıştır. Elde edilen armatür sayıları, ortalama aydınlık düzeyi, düzgünlük ve güç tüketimleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. 4mx6m boyutundaki çalışma ofisi için hesap sonuçları

E_{ort} (lux)	Armatür	Armatür sayısı (adet)	E_{ort} (lux)	U_o	P (W)	W/m ² /100lx
300	Tüp Flüoresan	2x2	375	0.53	278	3.09
	LED'li Panel	2x2	264	0.59	144	2.27
500	Tüp Flüoresan	2x3	551	0.59	417	3.15
	LED'li Panel	2x3	389	0.62	216	2.31
750	Tüp Flüoresan	3x3	815	0.59	626	3.20
	LED'li Panel	3x3	576	0.64	324	2.34

Tablo 4'ten de görüldüğü gibi elektronik balastlı armatürler yerine LED'li panel armatürler kullanıldığında her üç aydınlık düzeyi için yaklaşık %29 oranında daha düşük değerler elde edilmiştir. Buna karşılık çalışma düzlemindeki aydınlatmanın ortalama düzgünlük değerlerinin LED'li panel armatürler kullanıldığında bir miktar iyileştiği belirlenmiştir. Enerji verimliliği açısından incelendiğinde, LED'li panel armatürlerin kullanılması durumunda şebekeden çekilen aktif güç ortalama %48 oranında, 100lx için m² başına düşen Watt değeri ise ortalama %26 oranında azalmaktadır.

4.2. 20mx30m Boyutundaki Bir Çalışma Ofisi İçin Hesaplamalar

Çalışma kapsamında Dialux aydınlatma programı kullanılarak tek kişilik ofis için yapılan hesaplamalar 20mx30mx3m boyutlarında çok kişinin çalışabileceği açık bir ofis için tekrarlanmış ve elde edilen

armatür sayıları, ortalama aydınlık düzeyi, düzgünlük ile güç tüketimleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. 20mx30m boyutundaki çalışma ofisi için hesap sonuçları

E _{ort} (lux)	Armatür	Armatür sayısı (adet)	E _{ort} (lux)	U _o	P (W)	W/m ² /100lx
300	Tüp Flüoresan	7x9	326	0.56	4379	2.25
	LED'li Panel	7x9	257	0.56	2268	1.47
500	Tüp Flüoresan	10x11	565	0.57	7645	2.26
	LED'li Panel	10x11	447	0.58	3960	1.48
750	Tüp Flüoresan	12x14	860	0.58	11676	2.27
	LED'li Panel	12x14	680	0.58	6048	1.48

Tablo 5'e göre, 20mx30m boyutlarındaki bir açık ofis hacminde iyi kaliteli tüp flüoresan lambalı armatürler yerine LED'li panel armatürler kullanıldığında ortalama aydınlık düzeyleri her üç durum için ortalama %21 oranında düşerken, ortalama düzgünlüklerde ise herhangi bir değişim tespit edilmemiştir. Şebekeden çekilen güçler incelendiğinde yaklaşık %48 oranında tasarrufun söz konusu olduğu, normalize güç yoğunluğu değerlerinin ise ortalama %35 oranında azaldığı görülmektedir.

5. SONUÇLAR

Deneyisel çalışma sonuçlarına göre, uzun süre kullanılmış ve manyetik balastlı olan 29.3 lm/W etkinlik faktörüne sahip tüp flüoresan lambalı armatürler ile LED'li panel armatürlerin birebir değişimi sonucunda ortalama aydınlık düzeyinde %1.3 oranında artış, ortalama düzgünlük değerlerinde ise iyileşmeler olduğu belirlenmiştir. Hacmin uzun kenarındaki duvar üzerinde düşeyde yapılan ölçümler sonucunda ortalama aydınlık düzeyi ile ortalama düzgünlüğün önemli oranda arttığı da görülmüştür. Bu durumun, LED'li panel armatürlerin ışık şiddeti dağılımının tüp flüoresan armatürlere göre daha simetrik olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Deneyisel çalışma sonuçları enerji verimliliği açısından incelendiğinde ise, %59 oranında bir tasarruf söz konusudur.

Gerçek üretim ve piyasa koşulları gereği etkinlik faktörleri 50 lm/W değerini aşabilen çift parabolik lamelli tüp flüoresan armatürler dikkate alınarak, Dialux programında aydınlatma hesapları gerçekleştirilmiştir. Bu hesaplamalar

sonucunda, kişisel ofis olarak tanımlanan 4mx6mx3m boyutlarındaki bir hacimde tüp flüoresan lambalı-elektronik balastlı, %67 geriverime sahip armatürlerin yerine LED'li panellerin kullanılması durumunda çalışma düzleminde sağlanan 300, 500 ve 750 lx ortalama aydınlık düzeyi değerleri için yaklaşık %29 oranında bir azalma tespit edilmiştir. Buna karşın LED'li panel armatürler ile gerçekleştirilen aydınlatmanın ortalama düzgünlük değerlerinde az da olsa bir iyileşme sağlanmıştır. Açık ofisler için tanımlanan 20mx30mx3m boyutlarındaki hacim için aynı hesaplar tekrarlanmış ve hesaplamalar sonucunda ortalama aydınlık düzeyleri %21 oranında azalırken düzgünlük değerlerinde bir değişim olmadığı belirlenmiştir.

Aydınlatma hesapları sonucunda elde edilen toplam güç tüketim değerleri incelendiğinde ise, birebir armatür değişimi sonucunda elektronik balastlı tüp flüoresan armatürlerin kurulu güç değerlerinin %48 oranında azaltılabildiği, ancak m² başına 100lx için elde edilen aydınlık düzeyleri esas alındığında bu oranın %26 ila %35 arasında kaldığı tespit edilmiştir. Başka bir deyişle, yüksek geriverime sahip elektronik balastlı tüp flüoresan armatürlerin yarattığı aydınlık düzeyinin korunumu amaçlanarak gerçekleştirilecek LED'li panel aydınlatmasından elde edilebilecek tasarrufun bu oranlar arasında olabileceği söylenebilir.

Çalışmadan elde edilen diğer bir sonuç ise, mevcut ortalama aydınlık düzeylerinin sağlanabilmesi için retrofit amaçlı

kullanılacak LED’li panel armatürlerin toplam ışık akılarının yerine kullanılacakları tüp flüoresan lambalı armatürlerin toplam ışık akılarından daha fazla olması gerektirir. Deneysel çalışmada kullanılan LED’li panel armatürlerden çıkan toplam ışık akısı değerinin, tüp flüoresan lambalı armatürlerden çıkan ışık akısından yaklaşık %20 fazla olmasına rağmen, çalışma düzleminde sağlanan ortalama aydınlık düzeyinin mevcut duruma oldukça yakın olduğu görülmüştür. Bunun sebebi, LED’li panel armatürden çıkan ışınların çift parabolik lameller ile optik olarak iyi tasarlanmış tüp flüoresan lambalı armatüre göre, hacim içinde daha düşük verimle çalışma düzlemine iletilebildiği olarak açıklanabilir. Buna göre, mevcut tüp flüoresan lambalı çift parabolik lamelli armatürlerin yerine kullanılacak LED’li panel armatürlerin ışık akılarının tüp flüoresan armatürlerin ışık akılarına eşit olması durumunda, mevcut durumdaki aydınlık düzeyi değerleri sağlanamayacaktır.

Sonuç olarak hızla gelişen LED teknolojisi ile gerekli ışık akısı değerleri sağlanabildiğinde, LED’li panel armatürlerin ofis aydınlatmalarında daha önce yaygın olarak kullanılan çift parabolik lamelli tüp flüoresan lambalı armatürlerin yerine retrofit amaçlı kullanılabileceği anlaşılmaktadır. Bu uygulamalarla gerek enerji tasarrufu gerekse aydınlatma kriterleri açısından iyi sonuçlar alınabileceği görülmektedir. Mevcut tüp flüoresan lambalı bir aydınlatma tesisatı yerine LED’li bir uygulamaya geçilirken, karşılaştırmalar var olan eski kalitesiz armatürlere göre değil, kaliteli yüksek geriverimli flüoresan lambalı olanlara göre yapılmalıdır. Retrofit projelerde gerekli aydınlatma kalite kriterlerinin mevcut duruma göre azalmadan sağlanması gerektiği akıldan çıkarılmamalıdır. Çalışmanın sonuçlarına göre, karşılaştırmalar yüksek geriverimli flüoresan lambalı armatürlere göre

yapıldığında, olası tasarruf değerlerinin azaldığı görülmektedir. Net ve doğru yönlendirici değerlerin verilebilmesi için araştırmanın, aydınlatma kalite kriterlerinde kamaşma da dikkate alınarak, farklı güçlerdeki T8 ve T5 tüp flüoresan lambaları da kapsayacak şekilde genişletilmesi gerekmektedir. Son karar ise, satın alma maliyetleri yüksek olan LED armatürlerin zamana yayılı maliyet analizleri yapılarak verilmelidir.

KAYNAKLAR

1. W.R.A. Ryckaerta, I.A.A. Roelandtsa, M. V. Gilsa, G. Durinck, S. Forment, J. Audenaert, P. Hanselaer, “Performance of LED Linear Replacement Lamps”, Light&Engineering, 20,1 (2012) 37-45.
2. W.R.A Ryckaerta, K.A.G. Smeta, I.A.A. Roelandtsa, M. V. Gilsa, P. Hanselaer, “Linear LED tubes versus fluorescent lamps: An Evaluation”, Energy and Buildings, 49 (2012) 429-436.
3. Ö. Güler, E. Erkin, M. B. Yurtseven, “Tüp Şeklinde LED ve Flüoresan Lambalı Armatür Kullanımı Analizi”, 9. Ulusal Aydınlatma Kongresi, 19-20 Nisan 2013, İstanbul.