

COB LED'LERDE YAŞLANDIRMA VE ÖMÜR TAHMİNİ UYGULAMALI ANALİZİ

İsmail KIYAK^{*1} Tahsin BOYEKİN²

¹ Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

² Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği ABD

ÖZET

Yeni teknolojiler ile birlikte LED (Light Emitting Diode, Işık Yayan Diyot) maliyet düşüşü, yüksek etkinlik faktörü ve yüksek renksel geri verim ile birlikte diğer aydınlatma ürünlerinin yerini almaya başlamıştır.

Bu çalışmada, ilk olarak LED'lerin sıcaklıkla ilişkisinden bahsedilmiştir. Sıcaklığın ve diğer değişkenlerin LED ömrüne etkisi araştırılmıştır. Bu araştırmalar sonucu oluşturulan yaşlandırma testleri gerçek zamanlı iki farklı yüksek güçlü LED'e uygulanıp LED ömrü tahmini analizleri yapılmıştır. Çalışmada, LED çipe ait kesin olarak bilinen süre ve jonksiyon sıcaklık verileri ve yüksek doğrulukla ölçülemeyen gerekli diğer parametrelerin bazı noktalarının filtrelenmesiyle ömür tahmini hesaplanmış olup diğer yöntemler ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: LED, LED Yaşlanma Davranışı, LED Ömrü Tahmini, LED Termal Davranış, LM-80, TM-21

*corresponding author: imkiyak@marmara.edu.tr

COB LED AGING and ANALYSIS of LIFETIME ESTIMATION

ABSTRACT

Along with new technologies, LED (Light Emitting Diode) has begun to replace other lighting products with cost reduction, high efficiency factor and high CRI (Color Rendering Index).

In this study, we will first talk about the temperature dependence of the LEDs. The effect of temperature and other variables on LED lifetime will be investigated. The results of these investigations will be applied to the aging tests LED, and LED lifetime estimates will be made. At the study, the exact time and junction temperature data of the LED chip and the junction of some points of other required parameters which cannot be measured with high accuracy are calculated and the life expectancy is calculated and compared with other methods.

Keywords: LED, LED Aging Behavior, LED Lifetime Estimation, LED Thermal Behavior, LM-80, TM-21

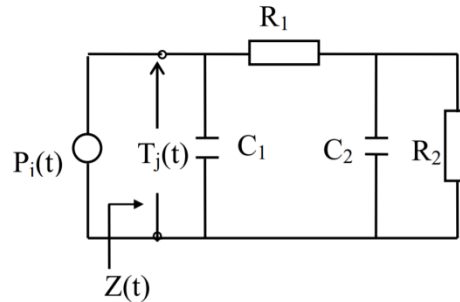
GİRİŞ

Yeni teknolojiler ile birlikte LED (Light Emitting Diode, Işık Yayan Diyot) maliyet düşüşü, yüksek etkinlik faktörü, yüksek renksel geri verim ve uzun ömür ile birlikte diğer aydınlatma ürünlerinin yerini almaya başlamıştır [1-4].

LED'ler iyi tasarlandığında verimli birer ışık kaynağıdır. Ancak kötü tasarım veya kalitesiz materyal ile üretildiğinde olumsuz sonuçlarla karşılaşmaktadır. Özellikle soğutma sistemi kötü olan LED'lerin ömürleri oldukça azalmaktadır [5-7]. Ayrıca armatürdeki LED çipin ömrü üretim aşamalarındaki kaliteyle doğru orantılıdır. Birçok firma LED ömrünü test yapmadan belirtmektedir. Bu sebeple bazı uygulamalar için LED kullanılmadan önce fabrika verilerinin doğruluğu test edilmelidir. Bu çalışmada test için LED yaşlandırma metotları kullanılarak elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. [8-11]

LED IŞIK ÇIKIŞINA SICAKLIĞIN ETKİSİ

LED'ler için en büyük problem olan sıcaklığın etkilerini azaltmak için iyi bir ısıl tasarıma ihtiyaç vardır. Bu tasarımın yeterli olup olmadığını kontrol etmek için de LED çalışırken jonksiyon sıcaklığını ölçmek gerekir. Bu ölçüm yapılamayacağı için jonksiyona yakın olan kısımlar ölçülüp hesaplama yöntemi ile bulunabilmektedir. Bir LED'in ısıl eşdeğer devresi Şekil 1'de görülmektedir [1].



Şekil 1: LED ısıl eşdeğer devresi

$P_j(t)$: jonksiyonda açığa çıkan ısıl güç

$T_j(t)$: jonksiyon sıcaklığı

$Z(t)$: jonksiyondan görülen ısıl empedans

C_1 : jonksiyondan kılıfa kadar olan bölgenin ısıl kapasitesi

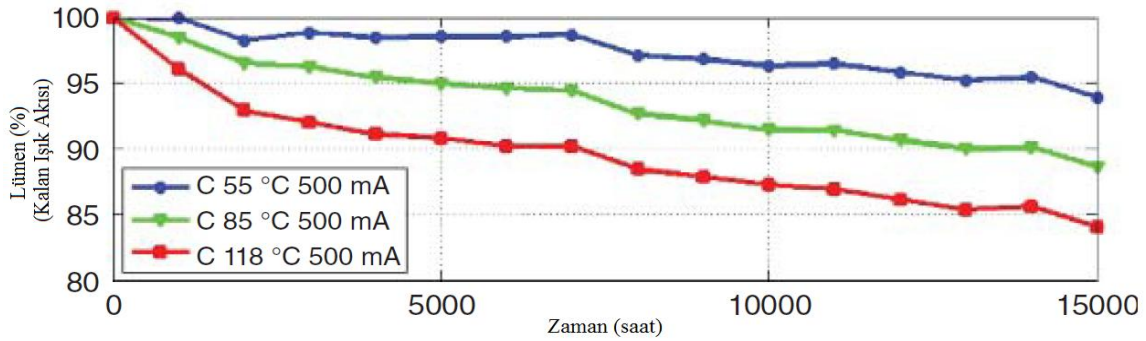
C_2 : kılıf bölgesinin ısıl kapasitesi

R_1 : jonksiyondan kılıfa kadar olan ısıl direnç

R_2 : kılıftan çevreye kadar olan ısıl direnç

LED jonksiyon sıcaklığına yakın değer bulabilmek için en yakın ısı değeri verebilecek olan kısımdan ölçüm yapılmalıdır. Bu konuda yapılan araştırmalar ve ölçümler sonucu katot kısımdan ölçüm daha uygundur.

LED'lerde sıcaklık etkisi Şekil 2'de görülmektedir. LED ömrü, ışık akısı, renk sıcaklığı gibi değerler sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Yüksek sıcaklığa maruz kalan LED bozulmaya uğramaktadır. Bu sebeple ısı tasarım ve LED sürücüsü oldukça önemlidir.



Şekil 2: Üç farklı sıcaklıkta LED'lerin lümen bakımından zamana bağlı grafiği [1]

LED'LERİN YAŞLANMA DAVRANIŞI

LED ürünlerinde, LED bileşenleri, belirli çalışma koşullarında akım, darbe genişlik modülasyonu (PWM), çalışma döngüsü ve hava şartlarına bağlı olarak değişen ortam sıcaklıklarında çalıştırılmaktadır. LED bileşenleri, devre kartı üzerine monte edilir veya diğer elektronik ünitelerden (sürüş ve kontrol elektroniği) ayrılır. Tüm bu bileşenler ve yapı birimleri zamanla bozulmaya uğrar. Bu da aydınlatma, termal, mekanik ve elektriksel parametrelerin değişmesine neden olur. LED bozulma davranışı sorunları aşağıdaki kategorilerde gruplandırılabilir:

- 1) Fotometrik büyüklüklerin amortismanı
- 2) Yayılan LED radyasyonun spektral ve renk özelliklerinin değişmesi
- 3) LED bileşenlerinin elektriksel ve termal özelliklerinin değişmesi[12]

LED'LERDE ÖMÜR BELİRLEME

LED çiplerin ömürleri birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörlere örnek olarak, kullanılan malzemelerin cinsi, çalışma sıcaklığı, kullanım zamanı ve sürüş akımı verilebilir. Bu sebeple LED ömürleri, LED çip üreticilerine ve hatta aynı üretim bandındaki LED çipleri içinde bile

farklılık gösterebilir.

Ömür belirleme çalışmaları LED ışık kaynakları için 2000’li yıllarda başlamıştır. Merkezi Amerika Birleşik Devletlerinde olan **Lighting Research Center (LRC)** bünyesinde 2002 yılında kurulan Katı Hal Aydınlatma Sistemleri ve Teknolojileri Birliği (**The Alliance for Solid-State Illumination Systems and Technologies – ASSIST**) katı hal aydınlatma sistemlerinin ömürleri ile ilgili ilk öneri dokümanını “Genel Aydınlatma için LED Ömrü: Ömrün Tanımı” adıyla 2005 yılında yayınlamıştır. Bu dokümana göre LED’ler için LM80, LM70 ve LM50 sırasıyla ışık akısının ilk durumdaki haline göre %80’e, %70’e ve %50’ye düştüğü zamanı saat cinsinden belirtmektedir. ASSIST tarafından yayınlanan bu doküman 2008 yılında Aydınlatma Mühendisliği Topluluğu (**Illuminating Engineering Society – IES**) tarafından geliştirip IES LM-80-08 “LED Işık Kaynaklarının Işık Akısı Sürekliliğinin Ölçümü” adlı doküman olarak yayınlanmıştır. LM80, tekil LED çiplerinin ömür tahminlerinde kullanılan ölçüm yöntemlerini açıklamaktadır. 2011 yılında yayınlanan IES TM-21-11 “Ömür Öngörü Yöntemi” standardı ise LM80 verilerini kullanarak uzun dönem ışık akısı düşümü tahminlerine kullanılmaktadır. Ömür süreleri minimum 6000 saatlik laboratuvar ölçümleri hesaplanır ve armatür ömrü için de eşit kabul edilir. Ancak armatür optik tasarımı ve elektriksel elemanlarının da ışık akısına etkisi unutulmamalıdır. Farklı tahmin yöntemleri mevcuttur; Border Function (BF), Arrhenius Behavior, Vector Acceleration (Temperature Acceleration–Vector Method – Denoted by TA–V), Exponential Function (Belonging to the Definition “Other Mathematical Fit Functions, Flexible (MFF-FLEX)). [1-3, 5, 6]

TM-21 YÖNTEMİ

IES TM-21-11, LED ışık akısı bozulma ömrü tahmini için dokuz farklı mühendislik tabanlı model önermektedir. LED yaşlanma davranışını tanımlamak ve tahmin etmek için doğrusal, üstel, logaritmik ve rasyonel fonksiyonlar önerilmiştir. En popüler ve sıklıkla kullanılan denklem, iki parametrelili (Φ_0 ve α) bir üstel fonksiyon işlevidir (1.1) (matematiksel uyum fonksiyonu (MFF-EXP)): [1-3,5,6]

$$\Phi(t) = \Phi_0 \cdot e^{-\alpha t} \quad (1.1)$$

Burada;

t = saat cinsinden çalışma süresi;

$\Phi(t)$ = t zamanında normalize edilmiş ışık akısı çıkışı;
 Φ_0 = en küçük kareler eğrisine uygun olarak türetilen başlangıç sabitidir;
 α = en küçük kareler eğrisine uygun olarak türetilen bozunma hızı sabiti.

Bu işlev, her seferinde mevcut miktarla orantılı olan bozunma oranına sahip bir işlemi açıklar. Başlangıçtaki Φ_0 ışık akısı bozunma oranı ile azalır ve sifıra doğru yaklaşır. Bu yüzden, ışıksız bozunmanın tek bir orana sahip olduğu ve LED'in artık yaymadığı sürece devam edeceği varsayılmaktadır. Birçok fiziksel materyal bu davranışı sergiler, örneğin radyoaktif materyallerin bozulması. LED karmaşık bir yapı olduğundan, bozulma sadece bir üstel fonksiyon izlediyse, bu farklı bir durum olurdu. Bu tipik davranışı gösteren LED'in bazı kısımları olsa bile, büyük olasılıkla farklı parametrelere sahip bozunma işlevlerinin toplamı olacaktır. Bir LED'in ömrü, ilk ışık akısının% 70'i veya% 80'inin yayıldığı zaman noktası olarak tanımlanır. Bu yüzden ömür boyu eğriler bu zamana kadar sıklıkla tahmin edilmektedir. Sıfıra giden bir fonksiyon neredeyse başlangıçta lineer bir fonksiyona eşittir, bazı durumlarda lineer bir eğri ile yaşam süresini tahmin etmek neredeyse aynı olacaktır[13].

ÖRNEK UYGULAMA

TM-21, LM80 ölçümünün son 5000 saatini kullanır. Eğer ölçümler, 10000 saatten uzun ise, bu sürenin ikinci yarısı kullanılır. Örneğin 13000 saatlik bir ölçümde, 6500-13000 saat arasındaki veriler kullanılır.

Tablo 1: LM-80 Test verileri [7]

Test edilen LED ışık kaynağının açıklaması (üretici, model, katalog numarası)	55 °C Kasa Sıcaklığı İçin Test Verisi		85 °C Kasa Sıcaklığı İçin Test Verisi		105 °C Kasa Sıcaklığı İçin Test Verisi	
	Zaman (Saat)	Lümen (Kalan Işık Akısı) (%)	Zaman (Saat)	Lümen (Kalan Işık Akısı) (%)	Zaman (Saat)	Lümen (Kalan Işık Akısı) (%)
LUXEON 3030 2D: L130-2780003000W21 (nominal CCT 2700K)	0	100,00%	0	100,00%	0	100,00%
	1000	99,26%	1000	98,97%	1000	98,91%
	2000	98,64%	2000	98,43%	2000	98,15%
	3000	98,36%	3000	98,01%	3000	97,68%
	4000	97,69%	4000	97,28%	4000	96,74%
	5000	97,25%	5000	96,71%	5000	96,27%
	6000	96,81%	6000	96,24%	6000	95,73%
	7000	96,34%	7000	95,77%	7000	95,36%
	8000	95,84%	8000	95,66%	8000	95,25%
	9000	95,49%	9000	95,19%	9000	94,56%

LM-80 Test Detayları	
Kasa sıcaklığı başına test edilen toplam ünite sayısı:	50
Hata sayısı:	0
Ölçülen birim sayısı:	50
Test süresi (saat):	9000
Test tahrik akımı (mA):	165
Test edilen kasa sıcaklığı 1 (Tc, °C):	55
Test edilen kasa sıcaklığı 2 (Tc, °C):	85
Test edilen kasa sıcaklığı 3 (Tc, °C):	105

Tablo 1'de bir LED'e ait 9000 saatlik LM-80 test verileri bulunmaktadır. Bu veriler ışığında TM-21 yöntemi ile yapılan tahminlere bakacak olursak;

Tablo 2’te L70 için çıkan ömür tahmini >54000 saat olmaktadır. Sonuçlar raporlanırken, LM80 verisi üzerinden hesaplanan ışık akısını koruma yüzdesi süresi saat cinsinden ölçüm zamanının 6 katından fazla ise, ömür tahmini büyüktür işareti ile verilmelidir. Örneğin bu çalışmada 9000 saatlik LM80 verisi ile ölçülen bir LED çipinin tahmin edilen L70 değeri 54000(=6x9000) saatin üzerinde olduğu için, TM21 L70 süresi tahminini $L70(9k) > 54000$ saat olarak belirtir. TM21, ölçüm zamanının 6 katından fazla ömür tahmini yapmaya istatistiksel hatanın artması sebebi ile izin vermez. TM21 tahmini verilirken, mutlaka LED çip kasa sıcaklığı ve sürüş akımı da belirtilmelidir. Örnek olarak, $L70(9k) > 54000$ saat ($T = 55^{\circ}\text{C}$, $I = 165$ mA) gösteriminin açıklaması: “ 55°C LED çip kasa sıcaklığında, 165 mA sürüş akımında 9000 saat çalıştırılıp ölçülen ışık akısı değerleri kullanılarak, bu çalışma koşulları geçerli kalması halinde söz konusu LED ışık kaynağının ışık akısının %70 değerine düşeceği sürenin 54000 saatten fazla olacağı tahmin edilmektedir” şeklindedir. [1-3,5-8]

Tablo 2: TM-21 Tahmin sonuçları (L70) [7]

Test edilen LED Işık Kaynağı'nın açıklaması (üretici, model, katalog numarası)		LUXEON 3030 2D: L130-2780003000W21 (nominal CCT 2700K)					
55 °C Kasa Sıcaklığı İçin Test Şartları		85 °C Kasa Sıcaklığı İçin Test Şartları		105 °C Kasa Sıcaklığı İçin Test Şartları			
Örnek sayısı	50	Örnek sayısı	50	Örnek sayısı	50		
Hata sayısı	0	Hata sayısı	0	Hata sayısı	0		
Testte kullanılan DUT sürücü akımı (mA)	165	Testte kullanılan DUT sürücü akımı (mA)	165	Testte kullanılan DUT sürücü akımı (mA)	165		
Test süresi (saat)	9.000	Test süresi (saat)	9.000	Test süresi (saat)	9.000		
Projeksiyon için kullanılan test süresi (saat-saat)	4000,0 - 9000,0	Projeksiyon için kullanılan test süresi (saat-saat)	4000,0 - 9000,0	Projeksiyon için kullanılan test süresi (saat-saat)	4000,0 - 9000,0		
Kasa test sıcaklığı (°C)	55	Kasa test sıcaklığı (°C)	85	Kasa test sıcaklığı (°C)	105		
α	4,645E-06	α	4,178E-06	α	4,280E-06		
B	0,995	B	0,988	B	0,983		
Raporlanan L70 (9k) (saat)	>54000	Raporlanan L70 (9k) (saat)	>54000	Raporlanan L70 (9k) (saat)	>54000		

Tablo 3’te L80 için çıkan ömür tahmini $L80(9k) = 47000$ saat ($T = 55^{\circ}\text{C}$, $I = 165$ mA), $L80(9k) = 50000$ saat ($T = 85^{\circ}\text{C}$, $I = 165$ mA), $L80(9k) = 48000$ saat ($T = 105^{\circ}\text{C}$, $I = 165$ mA), olmaktadır.

Tablo 3: TM-21 Tahmin sonuçları (L80) [7]

Test edilen LED Işık Kaynağı'nın açıklaması (üretici, model, katalog numarası)		LUXEON 3030 2D: L130-2780003000W21 (nominal CCT 2700K)					
55 °C Kasa Sıcaklığı İçin Test Şartları		85 °C Kasa Sıcaklığı İçin Test Şartları		105 °C Kasa Sıcaklığı İçin Test Şartları			
Örnek sayısı	50	Örnek sayısı	50	Örnek sayısı	50		
Hata sayısı	0	Hata sayısı	0	Hata sayısı	0		
Testte kullanılan DUT sürücü akımı (mA)	165	Testte kullanılan DUT sürücü akımı (mA)	165	Testte kullanılan DUT sürücü akımı (mA)	165		
Test süresi (saat)	9.000	Test süresi (saat)	9.000	Test süresi (saat)	9.000		
Projeksiyon için kullanılan test süresi (saat-saat)	4000,0 - 9000,0	Projeksiyon için kullanılan test süresi (saat-saat)	4000,0 - 9000,0	Projeksiyon için kullanılan test süresi (saat-saat)	4000,0 - 9000,0		
Kasa test sıcaklığı (°C)	55	Kasa test sıcaklığı (°C)	85	Kasa test sıcaklığı (°C)	105		
α	4,645E-06	α	4,178E-06	α	4,280E-06		
B	0,995	B	0,988	B	0,983		
Raporlanan L80 (9k) (saat)	47.000	Raporlanan L80 (9k) (saat)	50.000	Raporlanan L80 (9k) (saat)	48.000		

SONUÇ

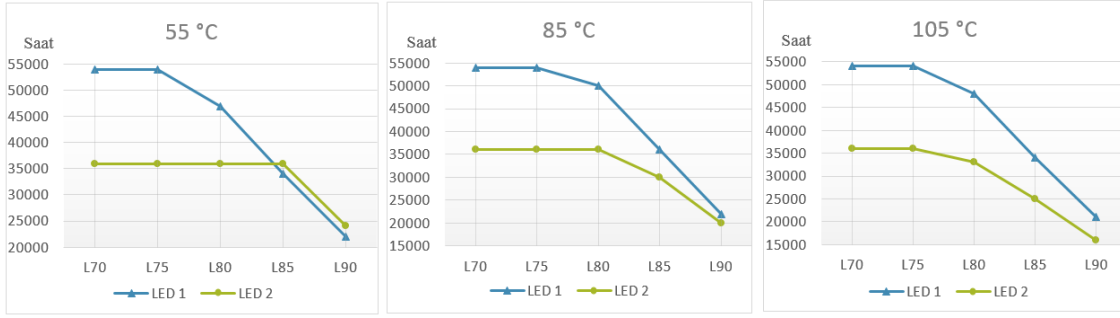
Tablo 4 ve Şekil 3’de iki farklı LED test değerleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. LED 1, 9000 saatlik LM80 verileri ile, LED 2 ise 6000 saatlik veriler ile ömür hesabı yapılmıştır. Bu sebeple TM-21 ömür tahmini sonuçlarında, TM-21 standartları gereği LED 1’de 54000 saatin üzeri tahmin edilememekte olup LED 2 de ise 36000 saatin üzeri tahmin edilememektedir. Bu sonuçlara bakıldığında LED 1 sıcaklıktan çok etkilenmemekte olup LED 2 önemli ölçüde etkilenmektedir. Genel olarak sıcaklık LED’ler için önemli bir etkidir. Bu sebeple LED’lerin uzun ömürlü olmaları için uygun sıcaklıkta çalıştırılmaları gerekmektedir.

Tablo 4: TM-21 Tahmin sonuçları [7]

Ömür	55 °C		85 °C		105 °C	
	LED 1	LED 2	LED 1	LED 2	LED 1	LED 2
L70	> 54000	> 36000	> 54000	> 36000	> 54000	> 36000
L75	> 54000	> 36000	> 54000	> 36000	> 54000	> 36000
L80	47000	> 36000	50000	> 36000	48000	33000
L85	34000	> 36000	36000	30000	34000	25000
L90	22000	24000	22000	20000	21000	16000

LED 1: LUXEON 3030 2D: L130-2780003000W21 (nominal CCT 2700K)

LED 2: Edison Opto Corporation: 2T01X2WW11000001 (nominal CCT 3000K)



Şekil 3: TM-21 Hesaplama sonuçları [7]

Gelişen teknolojiyle birlikte aydınlatma sistemlerinde yaygınlaşan LED'li ürünlerin teknik verilerinin belirlenmesinde yaşanan en büyük sorun ömür tahminleri için uzun test süreçlerinin olmasıdır. Bu da ürünün piyasa çıkarılmasını geciktirmektedir. Öte yandan bazı firmalar ise LM 79, LM 80 gibi teknik testleri gerek ticari kazanımları gerekse mesleki yetersizliklerden dolayı tam uygulamayarak ömür ve ışık değerleri hatalı LED'leri piyasa sürmektedirler. Bu da tüketiciyi yanıltarak hem LED ile ilgili kötü izlenim yaratmakta hem de zarara uğratmaktadır.

LED çipin ömrü üretim aşamalarındaki kaliteyle doğru orantılıdır. Kullanım şartları, özellikle de sıcaklık ömür süresinde önemli ölçüde etkilidir.

LED'lerin ömürlerinin tahmin edilmesi karmaşık bir sorundur. Yapılan çalışmada, LED çipe ait kesin olarak bilinen süre ve jonksiyon sıcaklık verileri ve yüksek doğrulukla ölçülemeyen gerekli diğer parametrelerin bazı noktalarının filtrelenmesiyle ömür tahmini hesaplanmış olup diğer yöntemler ile karşılaştırılmıştır. Bu analizlere göre daha doğru sonuçlar elde edildiği anlaşılmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Khanh, T. Q., Bodrogi, P., Vinh, T.Q., Winkler, H., LED Lighting: technology and perception, Wiley press, England, 21-28, 2015.
- [2] Richman, E., Understanding LED tests: IES LM-79, LM-80, and TM-21, DOE SSL Workshop, Ohio, USA, 254-258, 2011.
- [3] Yurtseven, M.B., Onaygil, S., Katı Hal Aydınlatma Ürünleri Ömür Ölçümü ve Tahmini Standartları, 11. Ulusal Aydınlatma kongresi, İstanbul, Türkiye, 56-61, 2017.
- [4] Kıyak, I., Oral, B., Topuz, V., Smart indoor LED lighting design powered by hybrid renewableenergy systems, Elsevier, Energy and Buildings, 342-347, 2017.

- [5] Hodapp, M., IESNA LM- 80 and TM- 21, Philips Lumileds Press., Street Lighting Consortium & Workshop , Florida, USA, 164-169, 2015.
- [6] Miller, C., IES TM-21-11 Overview, History and Q&A Session, EPA Energy Star Lamp Round Table, CA, USA, 354-360, 2011.
- [7] Kıyak, İ., A Study on the Working Performance of Dimming Methods for Single and Multi Chip Power LEDs, International Journal of Photoenergy, USA, 1008-1018, 2012.
- [8] Energy Star® TM-21 Calculator for Uneven LM-80 Intervals, <https://www.energystar.gov/.../energy%20star%20tm>, Erişim tarihi: 12.05.2018.
- [9] Narendran, N., Y. Gu., Life of LED-based White light sources, IEEE/OSA Journal of Display Technology, 167-171, 2005.
- [10] Spor, A., Kıyak, İ., Illumination design of educational environment with efficient lighting luminaries, International Conference on Innovative Engineering Applications (CIEA 2018), 457-463, 2018.
- [11] Aytekin, A., Kıyak, İ., LED / IRLED Components and Application Example Used in Medical Systems, International Conference on Innovative Engineering Applications (CIEA 2018), 246-252, 2018.
- [12] Kıyak, İ., Gökmen, G., Temperature and Photometric Analysis of Multichip Power LED and Retrofit Lamp, 8th International advanced Technologies Symposium, 884-894, 2017.
- [13] Gökmen, G., Kıyak, İ., The System Design of Photovoltaic Supported Light Pipe LED Hybrid Illumination, 6. European Conference on Renewable Energy Systems (ECRES 2018), 232-240, 2018.