

YOL AYDINLATMA TESİSATLARINDA LED ARMATÜR KULLANIMININ ELEKTRİK ENERJİ KALİTESİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Sermin Onaygil¹, Önder Güler¹, M. Berker Yurtseven¹, Büşra Büyükbaş²

onaygil@itu.edu.tr, onder.guler@itu.edu.tr, byurtseven@itu.edu.tr,
busra.buyukbas@yedas.com

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Ayazağa Yerleşkesi, Maslak, İstanbul
²YEDAŞ, Mimar Sinan Mah. 110. Sok. No:1, Atakum, Samsun

ÖZET

Bu çalışma kapsamında Samsun ilinde mevcut durumda YBSBL'lı armatürlerle aydınlatılan M2 aydınlatma sınıfı bir yol pilot olarak seçilmiştir. Mevcut YBSBL'lı tesisat ve daha sonra değişimi yapılan LED tesisatların aydınlatma kalite büyüklükleri parıltı ölçer, sistemin şebekeden çekmiş olduğu aktif, reaktif güç, akım, gerilim değerleri ile güç faktörü, tekil akım ve gerilim harmonikleri ile akım ve gerilimin toplam harmonik bozunum değerlerini içeren elektrik enerji kalitesi değerlerinin ölçümü ise enerji analizörü ile gerçekleştirilmiştir. Sahada armatür değişimi yapılmadan önce kullanılan YBSBL'lı armatürler için belirlenen aydınlatma ve elektriksel büyüklüklere ait ölçüm sonuçları ile LED armatür dönüşümü yapıldıktan sonra ölçülen büyüklükler karşılaştırılmıştır. Değerlendirmeler LED armatürlerin %100 çalışma durumu, M2 aydınlatma sınıfı ve otomasyon sistemine bağlı olarak M3 ve M4 aydınlatma sınıflarında çalışması durumları için gerçekleştirilmiştir.

Anahtar sözcükler: LED Dönüşüm, Elektrik Enerji Kalitesi, Güç Faktörü, Harmonikler

1. GİRİŞ

Artan nüfusa ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak özellikle gelişmekte olan ülkelerde elektrik enerjisine olan talep artış göstermektedir. Elektrik üretiminde büyük oranda kullanılan konvansiyonel kaynakların tükenerek olması ve çevresel etkileri göz önüne alındığında son yıllarda yenilenebilir enerji kaynakları ve enerjinin verimli kullanılmasına yönelik çalışmalar önem kazanmıştır. Elektrik enerjisinin verimli kullanılmasına yönelik çalışmaların sürdürüldüğü alanlardan biri de yol aydınlatma tesisatlarıdır. Özellikle son yıllarda gerçekleştirilen araştırma sonuçlarından, LED armatür üretiminde, otomasyon sistemlerinde yaşanan teknolojik gelişmeler ve fiyatlarının görece olarak düşmesi sonucu mevcut

durumda yol aydınlatmalarında kullanılan yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalı (YBSBL) armatürlerin LED dönüşümü ve otomasyon sistemlerinin uygulanması ile önemli tasarrufların elde edilebileceği görülmektedir. Tasarrufun yanı sıra mevcut tesisatlarda elektrik enerji kalitesi açısından da iyileştirmeler elde edildiği vurgulanmaktadır.

Literatürdeki araştırmalar incelendiğinde, çalışmaların bir kısmının teorik, bir kısmının simülasyon, bir kısmının ise laboratuvar çalışmaları olduğu, elektriksel büyüklüklerin değerlendirildiği gerçek saha çalışmalarının ise çok sınırlı olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada, mevcut durumda YBSBL'lı armatürlerin kullanıldığı bir pilot

yolda, sadece armatür değişimi ve otomasyon sistemi ilavesi ile adaptif LED dönüşümü gerçekleştirilerek tesisatların elektrik enerji kalitesi açısından karşılaştırılması amaçlanmaktadır. Adaptif sistemde farklı aydınlatma seviyelerindeki değişimlerin incelenmesi de hedeflenmektedir. Bu amaçla, ilk olarak konu ile ilgili elektriksel büyüklükler ve ilgili standartlar hakkında bilgi verilmekte, daha sonra LED dönüşümü ile otomasyon tesis edilen pilot yolda öncesi ve sonrasında gerçekleştirilen saha ölçümlerinin sonuçları analiz edilmektedir.

2. ELEKTRİKSEL BÜYÜKLÜKLER, STANDARTLAR

Elektrik enerji kalitesi için aşağıda verilen kriterlerin sağlanması önemlidir [1].

- Elektrik enerjisinin sürekli olması,
- Gerilim ve frekans değerinin sabit olması,
- Güç faktörü değerinin 1' e yakın olması,
- Faz gerilimlerinin dengeli olması,
- Akım ve gerilim harmonik miktarlarının belirli değerlerde olması.

Elektrik enerji kalitesi ile ilgili temel büyüklükler aşağıda verilmektedir;

Güç Faktörü (GF)

Elektrik sistemlerinde güç faktörü (GF) (1) nolu eşitlik yardımı ile hesaplanır;

$$GF = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{(P^2+Q^2+D^2)}} \quad (1)$$

Burada;

P: Aktif güç (W)

S: Görünür güç (VA)

Q: Reaktif güç (VAr)

D: Distorsiyon (bozunum) güç (VAr)

Tekil Harmonik Distorsiyonu (HD)

Akım ve gerilim için ayrı ayrı değerlendirilir ve her bir harmonik bileşenin temel bileşene oranı olarak yüzde cinsinden ifade edilir.

$$HD_v = \frac{V_n}{V_1} \times 100 \quad (2)$$

$$HD_i = \frac{I_n}{I_1} \times 100 \quad (3)$$

Burada;

n: Harmonik derecesi

V_n : n. harmonik gerilimi

I_n : n. harmonik akımı

V_1 : Temel gerilim değeri

I_1 : Temel akım değeri

Toplam Harmonik Distorsiyonu (THD)

Bir akım ya da gerilim dalgasında bulunan harmonikleri tek bir büyüklük ile ifade edebilmek için "Toplam Harmonik Distorsiyonu" büyüklüğü kullanılır. Akım ve gerilim için ayrı ayrı tanımlanır.

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \times 100 \quad (4)$$

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \times 100 \quad (5)$$

Harmonik Gerilim ve Akım Standartları

TS EN 50160, Aralık 2011, Genel Elektrik Şebekeleri Tarafından Sağlanan Elektrik Gerilim Karakteristikleri standardına göre;

- Alçak gerilim için faz ile nötr arası standart anma gerilimi $U_n = 230 \text{ V}$ tur. Kesintili periyotlar dışında, normal çalışma şartları altında, besleme gerilimi değişimlerinin anma gerilimi U_n 'nin $\pm\%10$ 'unu aşmaması esastır.

- Besleme geriliminin anma frekansı 50 Hz olmalıdır. Normal çalışma şartları altında 10 saniye boyunca ölçülen temel frekansın ortalama değeri enterkonnekte sisteme senkron bağlantılı sistemler için:

50 Hz \pm % 1 (bir başka deyişle 49,5 Hz....50,5 Hz) bir yılın % 99,5'i boyunca,

50Hz -%6 / +%4 (bir başka deyişle 47Hz....52Hz) her zaman (yılın %100'ü boyunca)

- Alçak gerilim şebekelerinde gerilim harmonik distorsiyon değerleri Tablo 1'de verilen değerleri aşmamalıdır. Ayrıca besleme geriliminin THD değeri % 8'e eşit veya daha az olmalıdır (40. dereceye kadar olan bütün harmonikler dahil) [2].

Tablo 1. TS EN 50160 Alçak gerilim şebekelerinde gerilim harmonik distorsiyon sınırları (tek harmonikler)

| Harmonik derecesi (n) | HD _v (%) |
|-----------------------|---------------------|
| 3 | 5,0 |
| 5 | 6,0 |
| 7 | 5,0 |
| 9 | 1,5 |
| 11 | 3,5 |
| 13 | 3,0 |
| 15 | 0,5 |
| 17 | 2,0 |
| 19 | 1,5 |
| 21 | 0,5 |
| 23 | 1,5 |
| 25 | 1,5 |

TS EN IEC 61000-3-2/A1, Nisan 2021, Elektromanyetik uyumluluk (EMU) - Bölüm 3-2: Sınırlar - Harmonik akım yayınımları için sınırlar (faz başına ≤ 16 A giriş akımı taşıyan donanım) başlıklı standart, alçak gerilim dağıtım şebekelerine bağlı faz başına giriş akımı ≤ 16 A olan elektriksel cihazların harmonik akımlarının sınırlarını tanımlamaktadır. Bu standarda göre elektriksel cihazlar A, B, C ve D olmak üzere 4 sınıfa ayrılır. Yol aydınlatma tesisatlarında kullanılan dimleme özelliğine sahip aydınlatma armatürleri de dahil olmak üzere tüm aydınlatma armatürleri C sınıfına girmektedir [3]. C sınıfına ait elektriksel cihazlar için akım

harmonik sınır değerleri Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. C sınıfı ekipmanlar için akım harmonik sınır değerleri

| Harmonik derecesi (n) | HD _I (%) |
|-----------------------|---------------------|
| 3 | 27 |
| 5 | 10 |
| 7 | 7 |
| 9 | 5 |
| 11<n<39 | 3 |

Ülkemizde yol aydınlatma tesisatlarında kullanılacak LED armatürlerin özelliklerini belirleyen "LED Işık Kaynaklı Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi" ne göre [4];

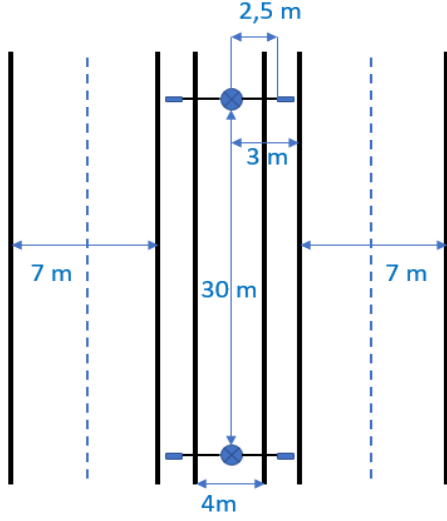
- LED'li armatürün toplam harmonik distorsiyonu (THD) %10'dan fazla olmayacaktır.

- Sürücülerin güç faktörü de en az 0,95 olacaktır.

3. SAHA ÖLÇÜMLERİ: MEVCUT DURUM

Bu çalışma kapsamında Samsun ilinde bulunan pilot yol, mevcut durumda 30 m aralıklarla, 12 m yüksekliğe sahip, 12 adet aydınlatma direğinde refüjde çift konsollu olarak monte edilmiş 24 adet YBSBL'lı armatürler ile aydınlatılmakta olup, yolun aydınlatma sınıfı M2' dir. Yol 3.5 metre genişliğinde iki şeritli olup, refüj genişliği 4 metredir (Şekil 1). Mevcut YBSBL' lı tesisat ve daha sonra değişimi yapılan LED tesisatların aydınlatma kalite büyüklükleri parıltı ölçer, sistemin şebekeden çekmiş olduğu aktif, reaktif güç, akım, gerilim değerleri ile güç faktörü, tekil akım ve gerilim harmonikleri ile akım ve gerilimin toplam harmonik bozunum değerlerini içeren elektrik enerji kalitesi

değerlerinin ölçümü ise enerji analizörü ile gerçekleştirilmiştir;



Şekil 1. Pilot yol krokisi

Pilot yolda YBSBL' lı armatürlerin bulunduğu mevcut durum için aydınlatma kalite kriterleri saha ölçümleri kuru yağışsız havada karanlık saatlerde trafik kesilerek, araç farlarının aydınlatmayı etkilemediği ortamda yapılmıştır. Ölçümlerde LMK marka, mobile air model kameralı parıltı ölçer kullanılmıştır. Mevcut YBSBL' lı armatürlerin çalışma durumu için parıltı ölçüm sonuçları ile sağlanması gereken değerler Tablo 3'te verilmektedir.

Tablo 3. Sağlanması gereken [5] ve YBSBL' lı tesisatta ölçülen aydınlatma kalite kriterleri

| | L_{ort} [cd/m ²] | U_o | U_I |
|--|-----------------------------------|-------------|-------------|
| M2 Yol Sınıfı için Sağlanması Gereken Değerler | $\geq 1,50$ | $\geq 0,40$ | $\geq 0,70$ |
| Saha Ölçümü | 2,95 | 0,31 | 0,59 |

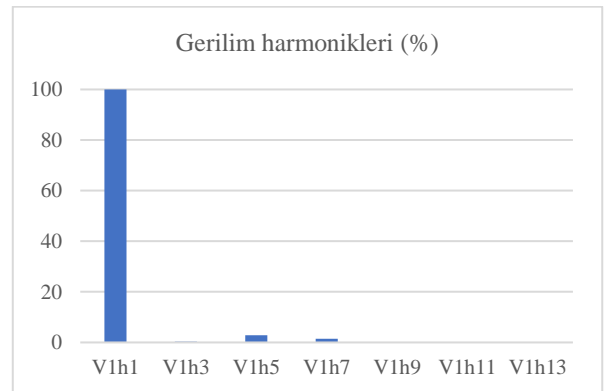
Tablo 3'den görüldüğü gibi saha ölçüm sonuçlarına göre yol ortalama parıltı düzeyi sağlanması istenen değerden yüksektir. Bunun bir nedeni mevcut

yolun aydınlatılmasında kullanılan lamba gücünün yüksek olması, diğer nedeni ise ülkemizde yol aydınlatma tasarımlarında yol yansıtma sınıfının her durumda R3 alınarak tasarım hesaplamalarının gerçekleştirilmesidir. Saha ziyaretinde pilot yol yüzeyi renginin oldukça açık olduğu gözlemlenmiştir. Mevcut yol R3 sınıfından daha fazla R1 sınıfına yakın özelliktedir. Bu iki nedenle yol ortalama parıltı düzeyi, saha ölçüm sonuçlarına göre istenen değer üzerindedir.

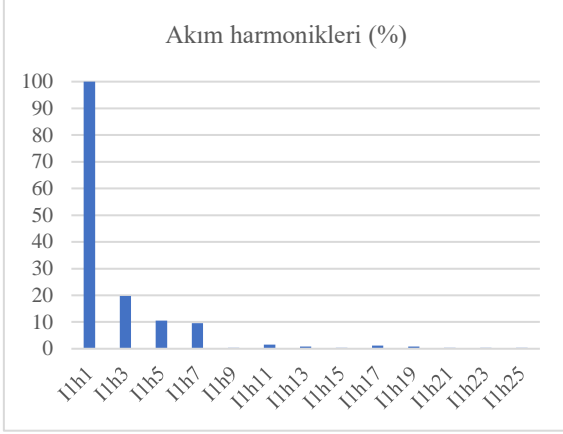
Mevcut YBSBL' lı armatürlerin %100 ışık akısında çalışma durumu için elektriksel ölçümler enerji analizörü kullanılarak 10 dakikalık aralıklarla gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları kullanılarak hesaplanan değerler Tablo 4' te, gerilim ve akım harmonik spektrumları ise Şekil 2 ve 3' te verilmektedir.

Tablo 4. YBSBL' lı armatür kullanılması durumu için elektriksel ölçüm sonuçları

| | |
|-----------------|-------|
| V_{eff} (V) | 230,5 |
| THD_V (%) | 3,47 |
| Frekans (Hz) | 50,0 |
| P_{arm} (W) | 281 |
| Q_{arm} (VAr) | 255 |
| GF | 0,74 |
| THD_I (%) | 31,5 |



Şekil 2. YBSBL' lı tesisat gerilim harmonikleri



Şekil 3 YBSBL' lı tesisat akım harmonikleri

4. SAHA ÖLÇÜMLERİ: YENİ DURUM

YBSBL' lı armatürlü tesisatta gerekli ölçümler yapıldıktan sonra mevcut armatürler sökülerek yerlerine takılan LED armatürler ile M2 aydınlatma sınıfına ait kriterleri sağlayacak şekilde aydınlatma hesapları gerçekleştirilmiş ve uygun olabilecek LED armatür tipi ve gücü belirlenerek, pilot yolda sadece armatür değişimi ve otomasyon sistemi ilavesi ile adaptif LED dönüşümü gerçekleştirilmiştir.

Tasarımı gerçekleştirilen yol yüzeyi açık renkli olmasına rağmen, ülkemizde gerçekleştirilen yol aydınlatma tasarımlarında yol sınıfının R3 olarak kabul edilmesi ve ileride yol yüzeyi kaplamasında yapılabilecek yenileme çalışmalarında yol sınıfının R3 olabileceği dikkate alınarak, hesaplamalarda yol sınıfı R3 olarak alınmıştır. Ayrıca otomasyon durumunda gidiş-dönüş trafiğinin olduğu yollarda bir yöndeki trafik yoğunluğunun maksimum, diğer yöndeki yoğunluğun minimum olması durumunda, her iki yönde gerekli aydınlatma koşullarının sağlanması gerektiğinden, armatür güçlerinin her iki yöndeki aydınlatma sınıfının aynı

olmasını sağlayacak şekilde daha yüksek güçte olması da gerekmektedir [6]. Belirtilen bu durumlar ve bakım işletme faktörü gözönüne alınarak yol aydınlatma hesapları yapılmış ve 111 W gücündeki LED armatürler ile çözüme ulaşılmıştır. Armatürlerin %100 ve M2, M3, M4 aydınlatma sınıflarındaki aydınlatma kriterlerini sağlayacak güçlerde çalışması durumlarında yapılan saha ölçüm sonuçları, sağlanması gereken değerler ile birlikte Tablo 5' te verilmektedir.

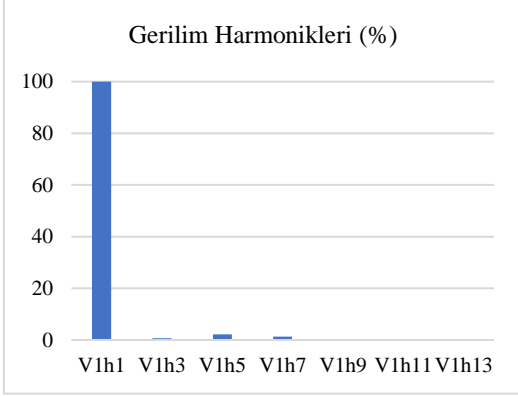
Tablo 5. LED' li tesisatta sağlanması gereken [5] ve ölçülen aydınlatma kalite kriterleri

| Aydınlatma sınıfı | P_{arm} (W) | L_{ort} [cd/m^2] | U_o | U_i |
|-----------------------------|---------------|------------------------|-------|-------|
| %100 | 111 | 3,22 | 0,43 | 0,78 |
| M2 | 47,2 | 1,51 | 0,43 | 0,77 |
| M3 | 31,0 | 1,01 | 0,44 | 0,79 |
| M4 | 23,8 | 0,76 | 0,44 | 0,78 |
| Sağlanması gereken değerler | M2 | 1,50 | 0,40 | 0,70 |
| | M3 | 1,00 | 0,40 | 0,60 |
| | M4 | 0,75 | 0,40 | 0,60 |

LED armatürlerin monte edildiği tesisatın gerilimine ait ölçüm sonuçları Tablo 6' da ve gerilim harmonik spektrumu ise Şekil 4' te gösterilmektedir.

Tablo 6. LED' li tesisatta gerilim için ölçüm değerleri

| V_{eff} (V) | THD _v (%) | Frekans (Hz) |
|---------------|----------------------|--------------|
| 232,1 | 2,64 | 50,0 |

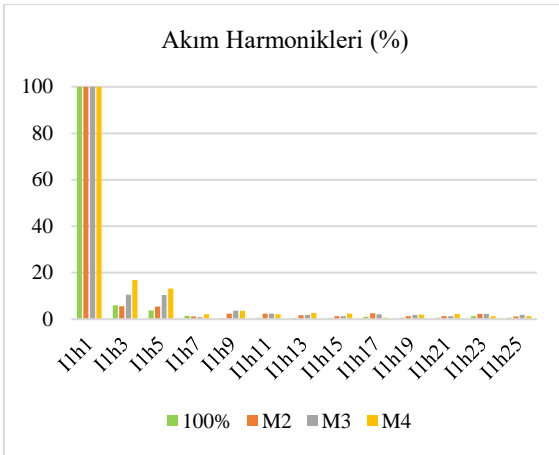


Şekil 4. LED' li tesisat gerilim harmonikleri

M2, M3 ve M4 aydınlatma sınıflarında çalışma durumları için elektrik enerji kalite parametreleri Tablo 7' de, akım harmonik spektrumları ise Şekil 5' te verilmektedir.

Tablo 7. LED'li tesisatta farklı aydınlatma sınıflarına ait elektriksel ölçüm sonuçları

| Ayd. sınıfı | P _{arm} (W) | Q _{arm} (Var) | GF | THD _I (%) |
|-------------|----------------------|------------------------|------|----------------------|
| % 100 | 111 | 32,4 | 0,96 | 7,64 |
| M2 | 47,2 | 20,2 | 0,92 | 10,1 |
| M3 | 31,0 | 16,7 | 0,88 | 16,5 |
| M4 | 23,8 | 14,7 | 0,85 | 19,6 |



Şekil 5. LED' li tesisat akım harmonikleri

5. SONUÇ

Sahada armatür değişimi yapılmadan önce kullanılan YBSBL' lı armatürler için belirlenen aydınlatma ve elektriksel büyüklüklere ait ölçüm sonuçları ile LED armatür dönüşümü yapıldıktan sonra ölçülen büyüklükler karşılaştırılmıştır. Değerlendirmeler LED armatürlerin %100 çalışma durumu, M2 aydınlatma sınıfı ve otomasyon sistemine bağlı olarak M3 ve M4 aydınlatma sınıflarında çalışması durumları için gerçekleştirilmiştir.

-YBSBL'lı armatürlerin kullanıldığı mevcut durumdaki tesisatta güç faktörü 0,74, THD_I değeri %31,5 olarak ölçülmüştür.

-LED armatürlerin %100 çalışma durumunda güç faktörü 0,96, THD_I değeri ise %7,64 olarak ölçülmüştür.

-LED armatürlerin M2, M3 ve M4 aydınlatma sınıfı kriterlerini sağlayacak durumda çalışmaları halinde güç faktörü değerleri düşerken, THD_I değerleri artış göstermiştir.

YBSBL'lı ve LED' li armatürlerin % 100 ışık akısında çalışma durumunda elde edilen elektriksel ölçüm sonuçlarına göre, LED armatür kullanılması durumunda armatür gücünün azalması ile önemli oranda tasarruf edildiği, güç faktörü değerinin reaktif güç kompanzasyonuna gerek kalmadan istenen değerin üzerine çıktığı ve toplam akım harmonik distorsiyon (THD_I) değerinin ise istenen %10 dan küçük olma şartını sağladığı görülmüştür. LED armatür kullanılması sonucu gerek şebekeden çekilen aktif gücün gerekse akım harmonik değerlerinin azalmasıyla akımın efektif değeri düşmüş, buna bağlı olarak iletken üzerindeki gerilim düşümü ve güç kayıp değerleri azalmıştır. Ancak yol aydınlatma tesisatı farklı aydınlatma sınıfı gereklerini

sağlayacak şekilde ışık akısı ayarları yapıldığında, dim seviyelerine bağlı olarak %100 çalışma durumuna göre armatür güç faktörü değeri düşmekte ve THD₁ değerlerinde de artışlar gerçekleşmektedir. Bu değişim oranı armatür gücü ile armatürde kullanılan maksimum sürücü gücü arasındaki fark arttıkça yükselmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Enerji Kalitesi ve Harmonikler, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Yayını, Kurs notu, 2006.

[2] TS EN 50160, Genel Elektrik Şebekeleri Tarafından Sağlanan Elektriğin Gerilim Karakteristikleri, Aralık 2011.

[3] TS EN IEC 61000-3-2/A1, Elektromanyetik uyumluluk (EMU) - Bölüm 3-2: Sınırlar - Harmonik akım yayınımları için sınırlar (faz başına ≤ 16 A giriş akımı taşıyan donanım), Nisan 2021.

[4] TEDAŞ - MLZ/2010-057.D, Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı, "LED Işık Kaynaklı Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi", Revize Ekim 2020.

[5] CEN 2015. EN 13201-2:2015. Road lighting - Part 2: Performance Requirements. Brussels: CEN.

[6] Onaygil S., Güler Ö., Yurtseven M. B., The Importance of Luminous Intensity Distribution in Adaptive Road Lighting for Twin Bracket Central Arrangement, Lux Europe 2022, 14th European Lighting Conference , Praha, Çek Cumhuriyeti, 20 - 22 Eylül 2022, cilt.1, ss.234-237.