



YOL AYDINLATMA TESİSATLARINDA LED ARMATÜR KULLANIMININ ELEKTRİK ENERJİ KALİTESİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

SERMİN ONAYGİL¹, ÖNDER GÜLER¹, M. BERKER YURTSEVEN¹, BÜŞRA BÜYÜKBAŞ²

¹İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ, ENERJİ ENSTİTÜSÜ, AYAZAĞA YERLEŞKESİ, MASLAK, İSTANBUL

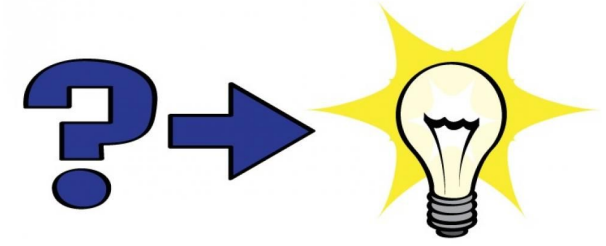
²YEDAŞ, MİMAR SINAN MAH. 110. SOK. NO:1, ATAKUM, SAMSUN



İTÜ



Hipotez, Gerekçe ve Amaç



- ✓ Elektrik enerjisinin verimli kullanılmasına yönelik çalışmaların sürdürüldüğü alanlardan biri de yol aydınlatma tesisatlarıdır.
- ✓ LED dönüşümü ve otomasyon sistemlerinin uygulanması ile önemli tasarruflar elde edilecektir.
- ✓ Tasarrufun yanı sıra mevcut tesisatlarda elektrik enerji kalitesi açısından da iyileştirmeler elde edilecektir.
- Literatürdeki araştırmalar incelendiğinde, çalışmaların bir kısmının teorik, bir kısmının simülasyon, bir kısmının ise laboratuvar çalışmaları olduğu, elektriksel büyüklüklerin değerlendirildiği gerçek saha çalışmalarının 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.

Uygulama



Samsun ilinde, mevcut durumda YBSBL'lı armatürlerle aydınlatılan, M2 aydınlatma sınıfı bir yol seçilmiştir.

Mevcut tesisatın ve daha sonra tesis edilen LED tesisatın:

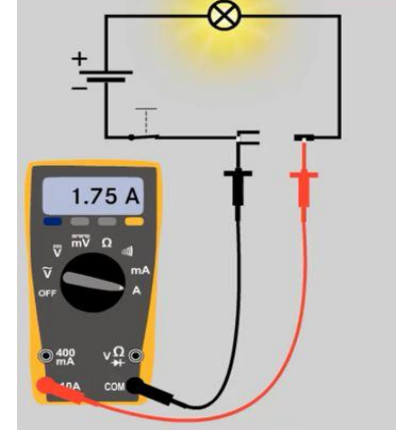
- Aydınlatma kalite büyüklükleri,
- Sistemin şebekeden çekmiş olduğu aktif, reaktif güç,
- Akım, gerilim değerleri,
- Güç faktörü, tekil akım ve gerilim harmonikleri,
- Akım ve gerilimin toplam harmonik bozunum değerleri ölçülmüştür.

LED armatürlerin %100 çalışma durumu, M2, M3 ve M4 aydınlatma sınıflarında çalışması durumları için sonuçlar verilmiş, önceki ve sonraki durum karşılaştırılmıştır.

Elektriksel Büyüklükler, Standartlar

Elektrik enerjisi kalitesi için:

- 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 gereklidir.



$$\text{Güç Faktörü (GF): } GF = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{(P^2+Q^2+D^2)}}$$

P: Aktif güç (W)

S: Görünür güç (VA)

Q: Reaktif güç (VAr)

D: Distorsiyon (bozunum) güç (VAr)

Elektriksel Büyüklükler

Tekil Harmonik Distorsiyonu (HD): $HD_v = \frac{V_n}{V_1} \times 100$ (Gerilim), $HD_i = \frac{I_n}{I_1} \times 100$ (Akım)

n: Harmonik derecesi

V_n : n. harmonik gerilimi

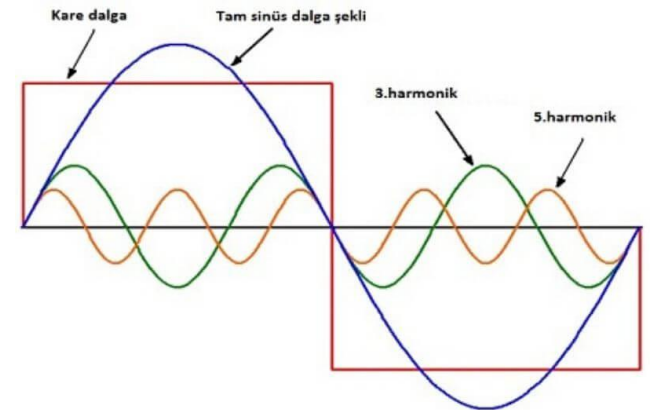
I_n : n. harmonik akımı

V_1 : Temel gerilim değeri

I_1 : Temel akım değeri

Toplam Harmonik Distorsiyonu (THD): $THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \times 100$ (Gerilim)

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



Harmonik Gerilim ve Akım Standartları

TS EN 50160, Aralık 2011, "*Genel Elektrik Şebekeleri Tarafından Sağlanan Elektriğin Gerilim Karakteristikleri*" standardına göre:

- Alçak gerilim için faz ile nötr arası standart anma gerilimi: $U_n = 230 \text{ V}$
- Normal çalışma şartları altında, besleme gerilimi değişimleri anma gerilimi U_n 'nin $\pm\%10$ 'unu aşmamalıdır (kesintili periyotlar dışında).
- 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:
 - $50 \text{ Hz} \pm \%1$ (bir başka deyişle 49,5 Hz...50,5 Hz) bir yılın % 99,5'i boyunca,
 - $50\text{Hz} -\%6 / +\%4$ (bir başka deyişle 47Hz...52Hz) her zaman (yılın %100'ü boyunca)
- Alçak gerilim şebekelerinde gerilim harmonik distorsiyon değerleri Tabloda verilen değerleri aşmamalıdır. Ayrıca besleme geriliminin THD değeri % 8'e eşit veya daha az olmalıdır (40. dereceye kadar olan bütün harmonikler dahil).

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 50160 Alçak gerilim şebekelerinde gerilim harmonik distorsiyon sınırları (tek harmonikler)

Harmonik Gerilim ve Akım Standartları

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)*" standardına 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.

Ülkemizde yol aydınlatma tesisatlarında kullanılacak LED armatürlerin özelliklerini belirleyen "**LED Işık Kaynaklı Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi**" ne göre:

- LED'li armatürün toplam akım harmonik distorsiyonu (THD_1) %10'dan fazla olmayacaktır.
- Sürücülerin güç faktörü en az 0,95 olacaktır.

Harmonik derecesi (n)	HD_1 (%)
3	27
5	10
7	7
9	5
$11 < n < 39$	3

C sınıfı ekipmanlar için akım harmonik sınır değerleri

Saha Ölçümleri: Mevcut Durum

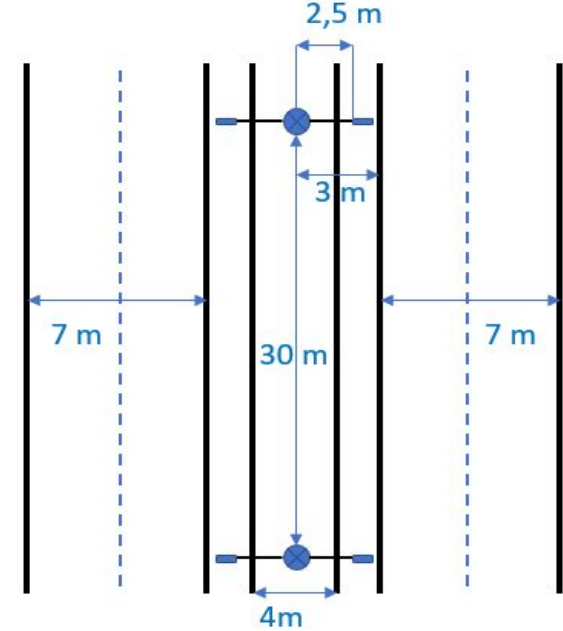
Pilot Yol (Samsun):

- 3,5 metre şerit genişliğinde, 2x2 yol
- 4 m refüj genişliği
- 30 m direk aralıkları
- 12 m direk yükseklikleri
- 12 adet aydınlatma direğinde refüjde çift konsollu monte edilmiş 24 YBSBL'lı armatür
- Aydınlatma sınıfı: M2

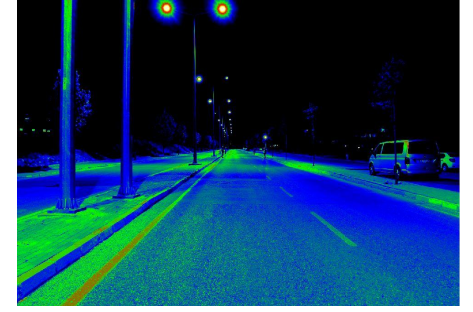
YBSLB -> LED dönüşümü yapılmıştır.

Aydınlatma Kalite Büyüklükleri -> Parıltı Ölçer (Kuru hava)

Elektrik Enerjisi Kalite Büyüklükleri -> Enerji Analizörü ile ölçülmüştür.



Saha Ölçümleri: Mevcut Durum



	L_{ort} [cd/m ²]	U_o	U_i
M2 Yol Sınıfı için Sağlanması Gereken Değerler	≥1,50	≥0,40	≥0,70
Saha Ölçümü	2,95	0,31	0,59

Sağlanması gereken ve YBSBL'lı tesisatta ölçülen aydınlatma kalite kriterleri
(LMK marka mobile air model kameralı parlaklık ölçer)

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

YBSBL'lı armatür kullanılması durumu için elektriksel ölçüm sonuçları

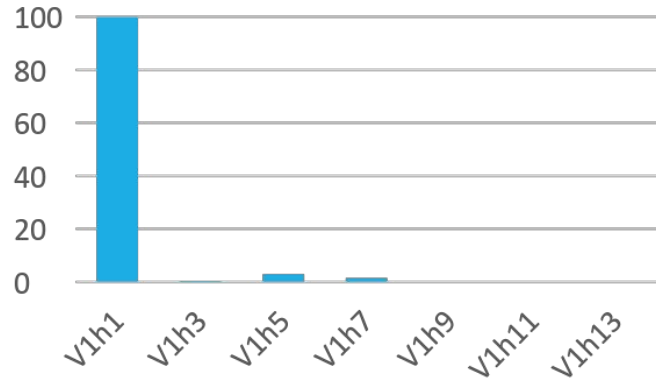
GF≥0.95
THD_i≤10

Saha ziyaretinde pilot yol yüzeyi renginin oldukça açık olduğu gözlemlenmiştir. Mevcut yol R3 sınıfından daha fazla R1 sınıfına yakın özelliktedir.

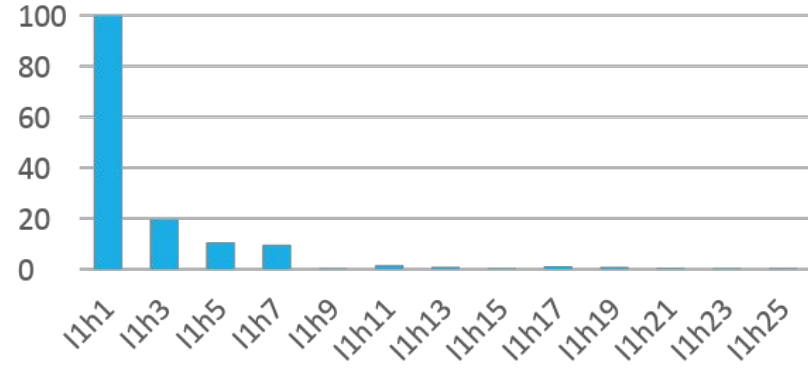
Mevcut YBSBL'lı armatürlerin %100 ışık akısında çalışma durumu için elektriksel ölçümler enerji analizörü kullanılarak 10 dakikalık aralıklarla gerçekleştirilmiştir.

Saha Ölçümleri: Mevcut Durum

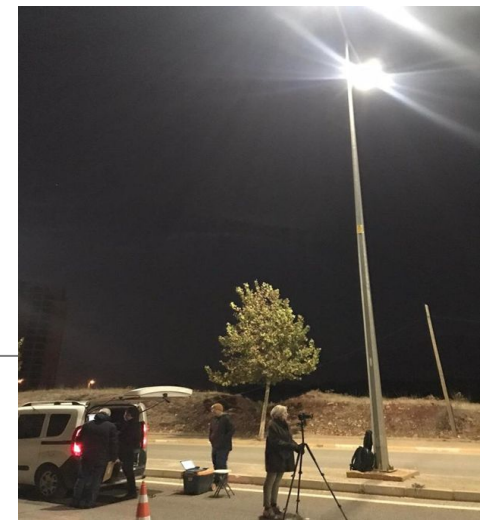
Gerilim harmonikleri (%)



Akım harmonikleri (%)



Saha Ölçümleri: Yeni Durum



M2 aydınlatma sınıfına ait kriterleri sağlayacak şekilde aydınlatma hesapları gerçekleştirilip, uygun olabilecek LED armatür tipi ve gücü belirlenmiş, 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.

Otomasyonlu tesisatlar, gidiş-dönüş trafiğinin olduğu yollarda kullanıldığında bir yöndeki trafik yoğunluğunun maksimum, diğer yöndeki yoğunluğun minimum olması durumunda, her iki yönde gerekli aydınlatma koşullarının sağlanması gerektiğinden, armatürlerin otomasyonsuz duruma göre daha yüksek güçte olmaları gerekmektedir.

Saha Ölçümleri: Yeni Durum



Bakım işletme faktörü göz önüne alınarak yol aydınlatma hesapları yapılmış ve 111 W gücündeki LED armatürler ile çözüme ulaşılmıştır.

Aydınlatma sınıfı	P_{arm} (W)	L_{ort} [cd/m ²]	U_o	U_l
%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

Saha Ölçümleri: Yeni Durum

V_{eff} (V)	THD_V (%)	Frekans (Hz)
232,1	2,64	50,0

LED' li tesisatta gerilim için ölçüm değerleri

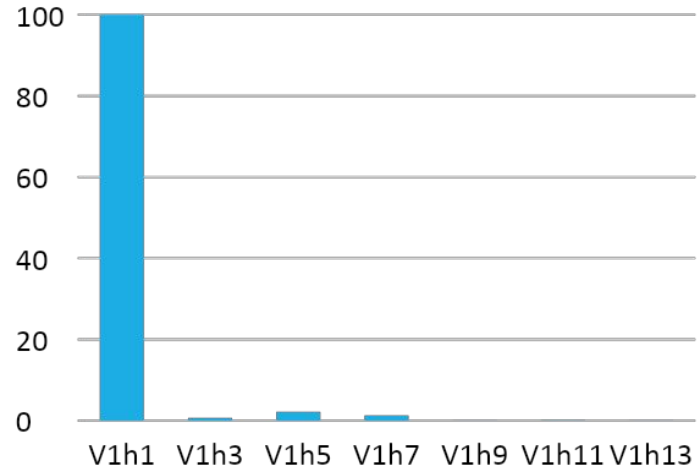
Ayd. sınıfı	P_{arm} (W)	Q_{arm} (Var)	GF	THD_I (%)
%100	111	32,4	0,96	7,64
M2	47,2	20,2	0,92	10,1
M3	31,0	16,7	0,88	16,5
M4	23,8	14,7	0,85	19,6

GF \geq 0.95
THD $_I$ \leq 10

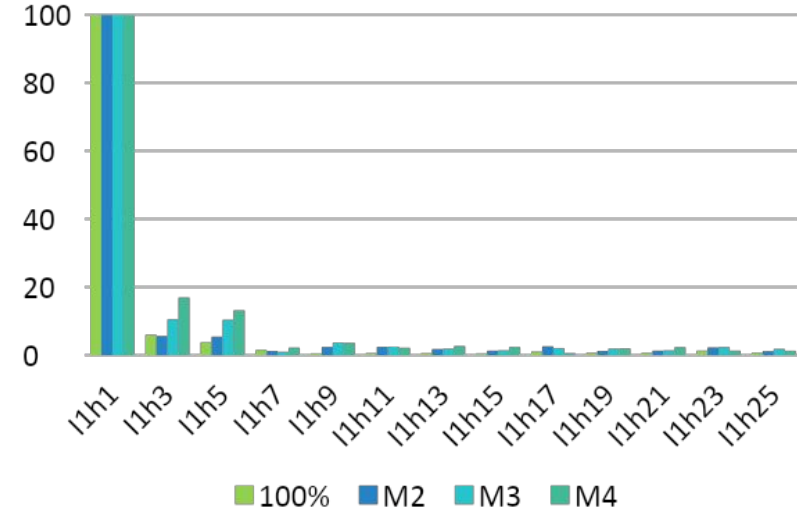
LED'li tesisatta farklı aydınlatma sınıflarına ait elektriksel ölçüm sonuçları

Saha Ölçümleri: Yeni Durum

Gerilim Harmonikleri (%)



Akım Harmonikleri (%)



SONUÇ

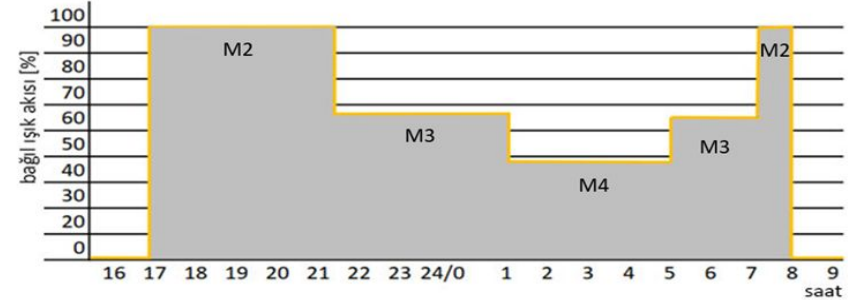


- YBSBL'lı armatürlerin kullanıldığı mevcut durumdaki tesisatta güç faktörü 0,74, THD₁ değeri %31,5 olarak ölçülmüştür.
- LED armatürlerin %100 çalışma durumunda güç faktörü 0,96, THD₁ değeri ise %7,64 olarak ölçülmüştür.
- LED armatürlerin M2, M3 ve M4 aydınlatma sınıfı kriterlerini sağlayacak durumda çalışmaları halinde güç faktörü değerleri düşerken, THD₁ 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 değer üzerine çıktığı ve toplam akım harmonik distorsiyon (THD₁) 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.

SONUÇ



- 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.
- Enerji kalitesinin bozulmaması için armatürler içinde kullanılan LED sürücülerin gücü armatür nominal gücüne yakın olmalıdır. LED sürücü nominal gücünün armatür nominal gücünün %10'unu geçmemesi koşulu önerilmektedir.
- Dim seviyelerinde toplam akım harmonik distorsiyonu yükselip güç faktörü düştüğü için, dimmerlenebilir özellikteki armatürlerde yine enerji kalitesi açısından bu durumu engelleyici filtre benzeri ek donanımların bulunması koşulu önerilmektedir.



Teşekkürler

ONAYGIL@ITU.EDU.TR

