

# YOL AYDINLATMASINDA BESLEME GERİLİMİNE BAĞLI OLARAK NÖTR HATTINDAKİ HARMONİK KAYIPLARIN MODELLENMESİ

Osman KILIÇ<sup>1</sup>

Bora ACARKAN<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Elektrik Mühendisliği Bölümü

Elektrik-Elektronik Fakültesi

Yıldız Teknik Üniversitesi, 34349, Beşiktaş, İstanbul

<sup>1</sup>e-posta: okilic@yildiz.edu.tr

<sup>2</sup>e-posta: acarkan@yildiz.edu.tr

Anahtar sözcükler: Yol Aydınlatması, Harmonik Aktivite, Nonlinear Model, MATLAB® Simulink

## ÖZET

Elektrik tesislerinde gözlenen harmonik aktivite kaynaklarından birisi de balastlı aydınlatma armatürleridir. Ana cadde ve sokakların aydınlatılmasında kullanılan cıva buharlı ve sodyum buharlı armatürler besledikleri şebeke üzerinde harmonik aktiviteye neden olmaktadır. Bu çalışmada besleme transformatörünün işletme koşullarına göre yol aydınlatma armatürlerinin harmonikleri ve bu harmonik akımlardan kaynaklanan faz ve nötr iletkenlerindeki kayıplar incelenmiştir. Cıva buharlı armatüre ilişkin deneysel olarak elde edilen akım, gerilim karakteristiği ve harmonik dağılım değerleri kullanılarak MATLAB® - Simulink modelleriyle simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.

## 1. GİRİŞ

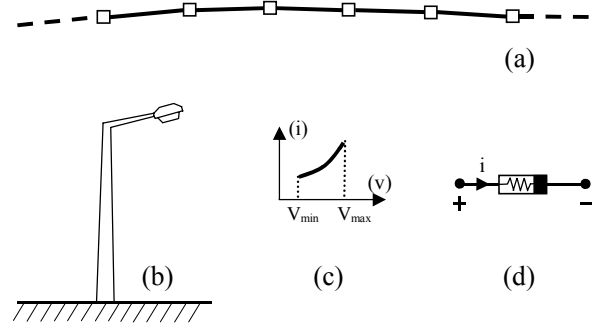
Alçak gerilim tesislerinde harmonik kaynaklarının sınıflandırılması sırasında balastlı aydınlatma elemanlarına da (buharlı armatürler, floresan lambalar, vb.) yer verilmektedir. Şehir içi yol aydınlatması, genellikle, cıva buharlı ve sodyum buharlı armatürler ile yapılmaktadır [1]. Yol boyunca belirli aralıklarda dikilen aydınlatma direkleri üzerinden yolun özelliklerine bağlı olarak belirli bir aydınlık düzeyi oluşturulacak şekilde aydınlatma hesabı yapılmaktadır. Aydınlatma yapılacak yollarla ilgili parıltı ( $\text{cd/m}^2$ ) yol genişliğine göre 1.4 ile 2.3  $\text{cd/m}^2$  arasında seçilmektedir ve proje sonuçları ölçülerek kontrol edilmektedir [2].

Aydınlatma armatürleri, minimum ve maksimum ortam sıcaklığı, kirlenme, güneş ışınımı, maksimum ve minimum bağıl nem, buzlanma, rüzgar hızı, yer sarsıntısı gibi öngörülen çalışma koşullarında kullanılmaya uygun olmalıdır. Armatürlerde kullanılan balast ve ateşleyicilerin de uluslararası standartlara (IEC 922, 923, 925, 927) uygun olması beklenir [3,4].

Cıva buharlı armatürün uç denklemi,  $v = Ri$  veya  $i = Gv$  biçiminde yazılamamaktadır; dolayısıyla,

$$f(i,v) = 0 \quad (1)$$

bağıntısı nonlinear özelliindedir.



Şekil-1. Bir yol aydınlatma tesisinin yapısının şematik gösterimi: (a) güzergah, (b) aydınlatma direği, (c) armatürün uç denklemi, (d) armatürün elektriksel eşdeğeri (nonlinear direnç).

Nonlinear yüklerin bilinen tipik özellikleri aydınlatma armatürleri için de geçerli olacaktır:

- Akımın ani değeri gerilimle doğru orantılı değildir.
- Yükün empedansı sabit olmayıp uç gerilimine bağlıdır.
- Gerilimin her tepe değerinde puls akımlar oluşur.
- Uç gerilimi sinüsoidal olsa da akım sinüs biçiminde değildir.
- Akımın tepe değeri ile efektif değeri arasındaki oran  $\sqrt{2}$ 'den farklıdır.
- Yükün uç denklemi nonlinear bir matematiksel fonksiyonla ifade edilir [5].

Bir aydınlatma tesisinin nonlinear özellikteki armatürlerden kaynaklanan harmonik aktivitesi:

- Armatürlerin sayısına,
- Besleme gerilimine,
- Armatürlerin uç denklemine bağlıdır .

Aydınlatma tesisindeki armatürlerin toplam sayısı (n) projelendirme sonucu belirlenir. n çeşitli parametrelerin fonksiyonu biçiminde ifade edilebilir:

$$n = f(A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K) \quad (2)$$

Burada,

- A : Yolun genişliği,
- B : Trafik yoğunluğu,
- C : Direklerin yüksekliği,
- D : Direkler arası mesafe,
- E : Konsol sayısı,
- F : Yolun zemin özelliği,
- G : Konsol eğim açısı,
- H : Armatür gücü,
- I : Kavşakların çapı ve sayısı,
- J : Çevresel özellikler,
- K : Tünel, köprü ve viyadük sayısı.

Aydınlatma tesisi boyunca güzergahın özelliklerine (arter, kavşak, köprü, viyadük, tünel, vb.) bağlı olarak aynı özellikte armatür kullanılmamış olabilir. Bu nedenle harmonik aktivite her yol kesimi için farklı değerler alabilir:

$$THA = f[(HA)_i \times n_i]; \quad i = 1, \dots, k \quad (3)$$

burada

- THA : Toplam Harmonik Aktivite,
- HA : Harmonik Aktivite,
- $n_i$  : Yolun i. kesimindeki armatür sayısı.

$$L = \sum_{i=1}^k \ell_i \quad (4)$$

burada

- L : Aydınlatılan yolun toplam uzunluğu (metre),
- k : Yoldaki farklı kesimlerin sayısı,
- $\ell_i$  : Yolun i. kesiminin uzunluğu.

Toplam Harmonik Aktivite, nonlineer özellikteki armatürlerden kaynaklanan etkinliği ifade etmek için kullanılmıştır ve Harmonik Oranı (HR), Distorsiyon Faktörü (DF), Toplam Harmonik Distorsiyonu (THD) gibi büyüklükler cinsinden tanımlanabilir.

## 2. YOL AYDINLATMA TESİSİNİN HARMONİK KARAKTERİSTİĞİ

Harmonik Aktivite, aydınlatma tesisi boyunca ortaya çıkar ve bu aktivitenin içeriği şöyle özetlenebilir:

- Besleme transformatöründeki harmonik sargı kayıpları ( $P_{CU}$ ),
- Faz ve nötr iletkenlerinde harmonik  $I^2R$  kayıpları,
- Besleme transformatörünün primer tarafına aktarılan THD.

Yukarıdaki tanımların matematiksel ifadeleri aşağıda verilmiştir.

$$\left. \begin{aligned} & \hat{P}_{CU} / \sum P_{CU(TR)} \\ & \sum_{i=2}^v [I^2 R_{(Ph)} + I^2 R_{(N)}]_v \\ & THD / THD_{(TR)} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

(^) simgeli büyüklükler aydınlatma tesisine ilişkindir. Harmonik Aktivite nonlineer bir fonksiyondur ve belirli bir güzergah boyunca aşağıdaki indekslerin fonksiyonu olarak yazılabilir,

- $K_1$  : Aydınlatma tesisinin yapısına bağlı indeks,
- $K_2$  : Aydınlatma tesisinin beslediği transformatörün uç gerilimine bağlı indeks.

$$\text{Harmonik Aktivite} = f(K_1) \cdot f(K_2) \quad (6)$$

olup  $K_1$  zamandan bağımsızdır; (6) nolu bağıntıdaki fonksiyonlar çarpım biçiminde olduğundan bu bağıntının nonlineer olduğu söylenebilir.  $K_1$  ve  $K_2$  indeksleri aşağıdaki gibi hesaplanır:

- $K_1$  (2) bağıntısı yardımıyla, yol aydınlatma tesisinin projesi kullanılarak belirlenir.
- $K_2$  besleme transformatörünün uç geriliminin günlük değişim karakteristiğinden belirlenir.

Besleme transformatörünün beslediği diğer yüklerin gün içindeki eğilimleri, sekonder uç geriliminin değişimine yol açar. Transformatörün besleme gerilimi ( $V_{TR}$ ),

$$V_{TR}^{(0)} = f(x_1, x_2, x_3) \quad (7)$$

şeklinde yazılabilir. Burada,

- $x_1$  : Transformatörün beslediği diğer yüklerin kapasite kullanım oranları,
- $x_2$  : Söz konusu yüklerin eşzamanlılık katsayıları,
- $x_3$  : Yüklerin özellikleri (mesken, ofis, küçük ölçekli işletme, resmi daire, vb.)

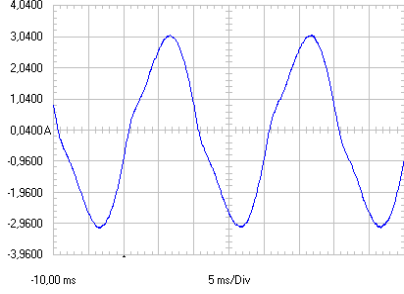
$x_1, x_2$  ve  $x_3$  parametreleri,

- İstatistik kuruluşunun aylık verileri,
- Elektrik idaresinin müşteri kayıtları ve fatura bilgileri yardımıyla belirlenebilir.

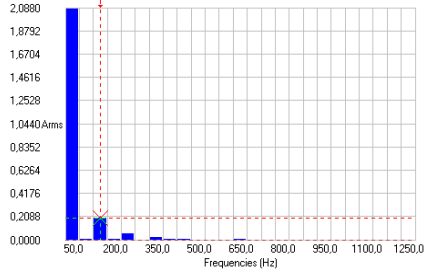
## 3. SAYISAL UYGULAMA

Sayısal uygulama için örnek bir caddenin aydınlatma şebekesi seçilmiştir. Direkler galvanizli tipte, yüksekliği 12 metre, konsol eğim açısı 15 derece, direk açıklıkları 30 metre, armatürler 250W cıva buharlı lambalıdır. Besleme gerilimi 50 Hz temel frekanslı, iletken kesiti  $4 \times 16 \text{mm}^2$  YVŞV bakırdır. Yol aydınlatması refülden yapılmıştır. Kullanılan

armatürlerin harmonik ölçüm sonuçlarına göre armatür akımının değişimi ve harmonik akım dağılımı Şekil-2’de gösterilmiştir. Harmonik ölçümleri için, Fluke® ScopeMeter 190 tipinde analizör cihazı kullanılmıştır [6].



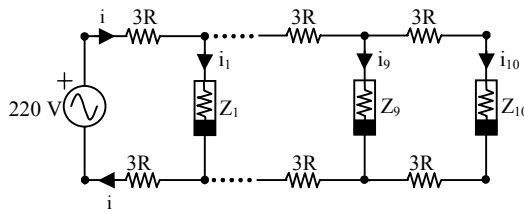
a) Akım dalga biçimi



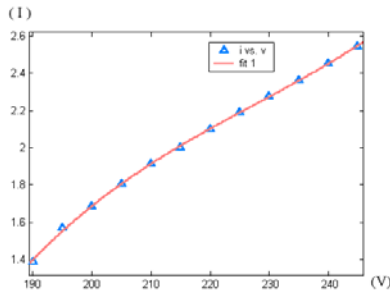
b) Harmonik akım dağılımı

Şekil-2. 250W cıva buharlı armatürün sinüsoidal olmayan akım dalga biçimi ve harmonik akım dağılımı.

Yol aydınlatma sisteminin nonlineer eşdeğer devre şeması Şekil-3’te gösterilmiştir [7]. Nonlineer devreyi MATLAB’da çözmek için cıva buharlı armatürün uç denklemleri olarak kullanılan nonlineer fonksiyonun değişimi Şekil-4’te verilmiştir.



Şekil-3. Yol aydınlatma sisteminin tek fazlı nonlineer eşdeğer devre şeması.



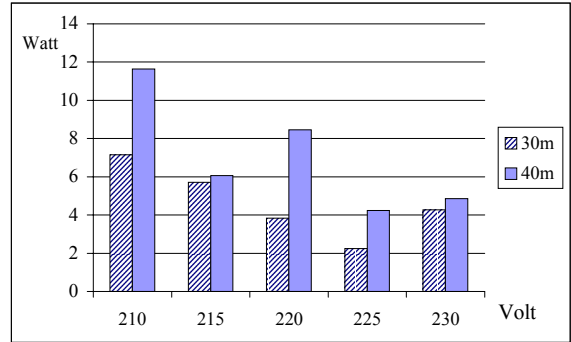
Şekil-4. Cıva buharlı armatüre ait nonlineer denklemin grafiksel gösterimi ( $i = f(v)$ ).

Nonlineer devrenin analizi sonucunda elde edilen akım, gerilim dağılımına göre harmonik akımlar düğüm noktalarından enjekte edilmiştir [8]. Simulink modelinde kullanılan harmonik akım dağılımlarının gerilimleri 180-230 volt arasındadır ( $\Delta V=5$  volt). Simulink’ten alınan sonuçlara göre hesaplanan harmonik aktivite (THD), harmonik gerilim düşümü ve güç kaybı) Tablo-1’de verilmiştir.

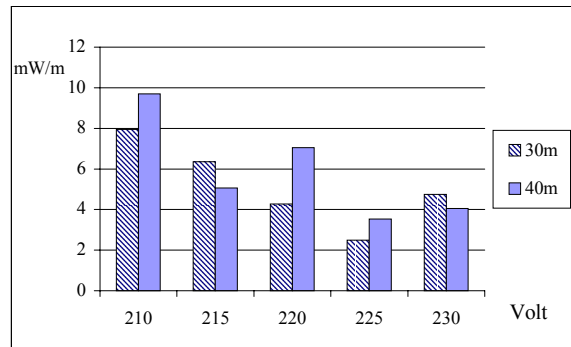
Tablo-1. Örnek yol aydınlatma sisteminin farklı besleme gerilimleri ve direk açıklıkları için hesaplanan harmonik aktivitesi.

Besleme Gerilimi (Volt)	THD <sub>i</sub> (%)				Nötr İletkeni Harmonik Ger.Düşümü ve Güç Kaybı			
	A Fazı		Nötr		(Volt)		(Watt)	
	30 m	40 m	30 m	40 m	30 m	40 m	30 m	40 m
210	7,32	8,53	21,85	25,69	2,37	3,60	7,15	11,65
215	6,06	5,55	17,63	16,35	2,23	2,62	5,72	6,07
220	4,85	5,36	13,07	16,23	1,84	2,42	3,84	8,46
225	3,31	4,09	7,61	10,54	1,39	2,26	2,24	4,24
230	4,32	4,70	9,69	12,57	1,93	2,39	4,27	4,86

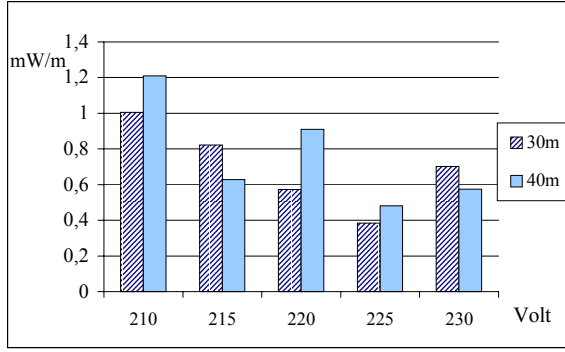
Nötr iletkeninde oluşan harmonik kayıpların ( $I^2R$ ), besleme gerilimine ve direk açıklığına bağlı olarak değişimi grafiksel olarak Şekil-5 ve Şekil-6’da; faz iletkeni kayıpları ise Şekil-7’de gösterilmiştir.



Şekil-5. Besleme gerilimine bağlı olarak 30 ve 40 metrelik direk açıklıkları için nötr iletkenindeki harmonik kayıplar.



Şekil-6. Besleme gerilimine bağlı olarak 30 ve 40 metrelik direk açıklıkları için nötr iletkeninin birim uzunluğundaki harmonik kayıplar.



Şekil-7. Besleme gerilimine bağlı olarak 30 ve 40 metrelik direk açıklıkları için faz iletkeninin birim uzunluğundaki harmonik kayıplar.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, cıva buharlı armatürün deneysel olarak elde edilen akım-gerilim karakteristiği ve harmonik spektrum verileri kullanılarak bir yol aydınlatma tesisinin harmonik aktivitesinin kestirimi MATLAB® Simulink simülasyonu ile gerçekleştirilmiştir.

Simülasyon devresinde 30 ve 40 metrelik direk açıklıkları ve besleme transformatörünün uç geriliminde oluşabilecek  $\pm 5$  voltluk değişim olasılığı göz önünde bulundurulmuştur. Elde edilen verilerden harmonik aktivitenin,

- Aydınlatma tesisinin fiziksel yapısına,
- Besleme transformatörünün uç geriliminin değişim aralığına bağlı olduğu görülmektedir

Tablo-1'deki hesaplama sonuçlarından,

- Direk açıklığının 10 metre artmasının harmonik aktiviteyi artırdığı,
- Transformatörün uç gerilimindeki minimum anma değerinin üzerindeki 5 Volt'luk artışın ise 230 volta kadar harmonik aktiviteyi azalttığı görülmektedir.

Harmonik aktivitenin en düşük olduğu durum, besleme geriliminin 225 volt ve 30 metrelik direk açıklığında görülmektedir. Harmonik aktivitenin en fazla olduğu durum ise besleme geriliminin 210 volt ve direk açıklığının 40 metre olduğu durumdur. Bu nedenle yol aydınlatması tasarımında bu kriterlere uyulmasıyla harmonik kayıpların etkisini en aza indirmek mümkündür.

#### KAYNAKLAR

- [1] TS EN 61000-3-2, Elektromanyetik Uyumluluk (EMU) Bölüm 3-2: Sınır Değerler – Harmonik Akım Emisyonları için Sınır Değerler (Faz Başına Donanımın Giriş Akımı  $\leq 16A$ ), 2003.
- [2] Harici Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi, TEDAŞ, Ankara, 1995.
- [3] IEEE Working Group on Power System Harmonics, Power System Harmonics: An Overview, IEEE TRANS. ON POWER APPARATUS AND SYSTEMS, vol. PAS-102, pp. 2455-2460, 1983.
- [4] Arrillaga J., Watson N.R., POWER SYSTEM HARMONICS, Wiley, 2003.
- [5] Laskowski E.L., Donoghue J. F., A Model of a Mercury Arc Lamp's Terminal V-I Behavior, IEEE TRANS. ON INDUSTRY APPLICATIONS, Vol. 1A-17, No. 4, pp. 419-426, July/August 1981.
- [6] www.fluke.com
- [7] Rios S., Castaneda R., Harmonic Distortion and Power Factor Assessment in City Street Gas Discharge Lamps, IEEE TRANS. ON POWER DELIVERY, Vol. 11, No. 2, pp. 1032-1040, April 1996.
- [8] Martinon J., Fauquembergue P., A New Statistical Approach of Harmonic Propagation in Transmission Systems, IEEE TRANS. ON POWER DELIVERY, Vol. 11, No. 2, pp. 1032-1040, April 1996.