

REFÜJDE ÇİFT KONSOLLU ADAPTİF YOL AYDINLATMASI TESİSATLARINDA ARMATÜR IŞIK ŞİDDETİ DAĞILIM EĞRİSİNİN ÖNEMİ

M. Berker Yurtseven¹
byurtseven@itu.edu.tr

Sermin Onaygil¹
onaygil@itu.edu.tr

Önder Güler¹
gulerond@itu.edu.tr

¹ İTÜ Enerji Enstitüsü, İTÜ Ayazağa Yerleşkesi, 34469 Maslak-İstanbul

ÖZET

Enerji tasarrufunu artırmak için aydınlatma parametrelerini yol koşullarına göre dinamik olarak ayarlayan Adaptif Yol Aydınlatması (AYA) sistemleri literatürde önerilmektedir. CEN/TR 13201-1 teknik raporu, AYA'yı trafik hacmine, zamana, hava durumuna ve diğer faktörlere göre aydınlık düzeyi veya parlıtıda geçici ve kontrollü değişiklikler olarak tanımlamaktadır. Anahtar parametreler arasında trafik hacmi, hız, trafik kompozisyonu, yol yüzey ve çevre koşulları yer almaktadır. AYA uygulanırken, yol aydınlatması kalite gerekliliklerinden ödün vermemek önemlidir. AYA senaryolarının tasarlanması refüjde çift konsollu tesisatlarda daha zordur. Her armatürün karşı yöne katkısını analiz etmek için detaylı hesaplamalara ihtiyaç vardır. Refüj genişliği azaldıkça armatürün katkısı artmaktadır. Hesaplamalarda armatürlerin refüj tarafındaki yani C_{270° düzlemindeki ışık şiddeti dağılımları etken olmaktadır. Gerekli koşullar sağlandığında ise tesisatların enerji verimliliği açısından tekrar değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu bildiride, değişken refüj genişlikleri kabulü ile refüjde çift konsollu düzenekli örnek bir M2 aydınlatma sınıflı yolda armatürlerin C_{270° düzlemindeki farklı ışık şiddeti dağılımlarının etkileri değerlendirilmektedir.

Anahtar sözcükler: Adaptif Yol Aydınlatması, Işık Şiddeti Dağılım Eğrisi, Aydınlatma Tasarımı

1. GİRİŞ

Yol aydınlatmasında temel amaç, gerekli aydınlatma koşullarını oluşturmak ve trafik güvenliğini sağlamaktır. Uluslararası standart ve tavsiyeler geliştiren kuruluşlar, bu konuda bilimsel araştırmalara ve geçmiş deneyimlere dayanarak yol gösterici dokümanlar yayınlamaktadır. Dünyada birçok ülke standartlarını ve yönetmeliklerini bu uluslararası yayınlardan yola çıkarak hazırlamaktadır. Adaptif yol aydınlatması (AYA) uygulamaları halen üzerinde çalışılan araştırmaya açık bir konudur. “CEN/TC169/WG12 – CEN/TC226 – ortak çalışma grubu” EN 13201 standartlarına, özellikle AYA konusunda katkı sağlamak için 2020 yılında çalışmalara başlamıştır [1]. Ayrıca, Uluslararası Aydınlatma Komisyonu'nun (CIE) “TC 4-62 Adaptif

Yol Aydınlatması” teknik komitesi de bu konuda çalışmaktadır [2]. CEN/TR 13201-1 “Yol Aydınlatması – Bölüm 1: Aydınlatma Sınıflarının Seçimi” teknik raporuna göre; yol aydınlatma sınıfı seçilirken, yolun tasarım hızı veya hız sınırı, trafik yoğunluğu, yolda gidiş-dönüş şeritlerini ayıran bir refüj olup olmadığı, trafiğin sadece motorlu araçlarla mı yoksa motorsuz araçlar ve yayalarla mı oluştuğu, kavşak yoğunluğu, park halindeki araçların varlığı, ortam parlaklığı ve seyir kolaylığı dikkate alınmaktadır [3].

Adaptif yol aydınlatması uygulamalarında statik ve dinamik yöntemler kullanılabilir. Statik yöntemler, geçmiş verilerden (trafik hacmi, hız veya meteorolojik koşullar gibi) gelecekteki bazı parametrelerin tahmin edilebildiği zaman esaslı programlanabilir kontrol sistemleri olarak tanımlanabilir.

Dinamik yöntemlerde ise, sensörler ile gerçek zamanlı veriler toplanmakta ve aydınlatma bu verilere göre oluşturulmuş algoritmalarla gerçek zamanlı olarak ayarlanmaktadır. Son yıllarda LED'ler, sensör teknolojileri, kablosuz iletişim ve bulut teknolojilerindeki gelişmelerle AYA uygulamaları teoride daha uygulanabilir bir hale gelmiştir. Ancak gerçek saha uygulamalarında hala çözülmesi ve tanımlanması gereken belirsizlikler ve sorunlar vardır. AYA'nın en önemli amacı, enerji verimliliği hedeflenirken trafik güvenliğini tehlikeye atmamak olmalıdır.

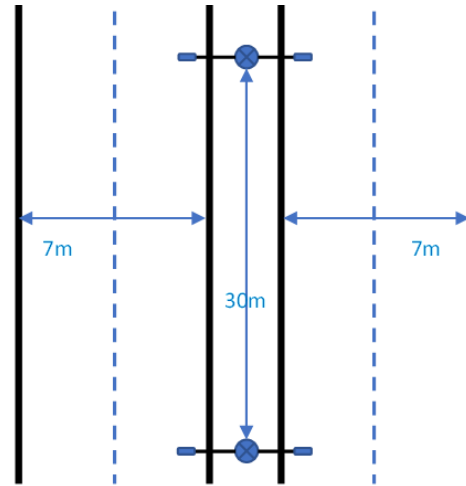
Uygulamada gidiş ve dönüşün ortadan refüjle ayrıldığı yollarda çok yaygın uygulanan refüjde çift konsollu yol aydınlatma tesisatları özelinde, her iki yönün farklı aydınlatma seviyelerine göre ayarlanması durumlarında, bir tarafın diğer taraftaki aydınlatmaya katkısı göz önüne alınarak dikkatli tasarımların yapılması gerekmektedir. Kullanılan armatürlerin ışık şiddeti dağılımlarına bağlı olarak bir armatürün diğer yöne katkısı simülasyonlar ile belirlenmelidir. Refüj genişliği azaldıkça, armatürün C_{270° düzleminde refüj tarafına sağladığı ışık miktarına bağlı olarak karşı yöne katkısı artmaktadır. Bu nedenle armatürlerin yolun diğer tarafına katkılarını farklı yol aydınlatma sınıflarının yaratıldığı senaryolar bazında farklı ışık dağılımları ve farklı refüj genişlikleri için belirleyen detaylı aydınlatma simülasyonlarına ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada öncelikle yol aydınlatma armatürleri kataloglarından farklı ışık şiddeti dağılımları araştırılmıştır. Örnek bir 2x2 şeritli M2 aydınlatma sınıfı yol seçilmiş ve adaptif yol aydınlatmalarında kullanılan baz ve kritik senaryolar belirlenmiştir. Her iki yön için, Dialux aydınlatma simülasyon yazılımı kullanılarak M2-M2 (baz), M2-M4 (statik) ve ayrıca bir yönde aracın olmadığı durum için kabul edilen trafiksiz senaryoda M2-

%10 (dinamik) seviyeleri değerlendirilmiştir. Dinamik otomasyon stratejisinde kullanılacak %10 seviyesi, M2-M2 baz senaryosundaki ışık akısının %10'udur. Çalışmada, M2-M2 senaryosu baz alınarak armatürlerin ışık akılarının ne kadar artırılması veya kısılması gerektiği hesaplanıp gidiş-dönüş her iki taraf için standart çalışma senaryosu olan M2-M2 aydınlatma sınıflarına göre farklı kombinasyonlar için güç tüketimleri belirlenmiştir.

2. YÖNTEM VE HESAPLAMALAR

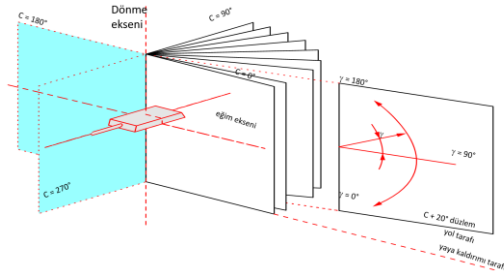
Analiz için seçilen örnek yol, gidiş ve dönüşte iki şeritli olup, refüjde çift konsollu aydınlatma düzeneklidir (Şekil 1). Armatürler 12 metre yüksekliğindeki direklere 2 metre uzunluğundaki konsollarla direkler arası 30 metre mesafede monte edilmiştir. Yol yüzeyi yansıtma sınıfı R3 olarak alınmıştır.



Şekil 1. Analizlerde kullanılan örnek yol krokisi

Armatür ışık şiddeti dağılımının etkisini araştırmak için, Dialux aydınlatma simülasyon yazılımı [4] ve çevrimiçi bir armatür veri tabanı kullanılmıştır.

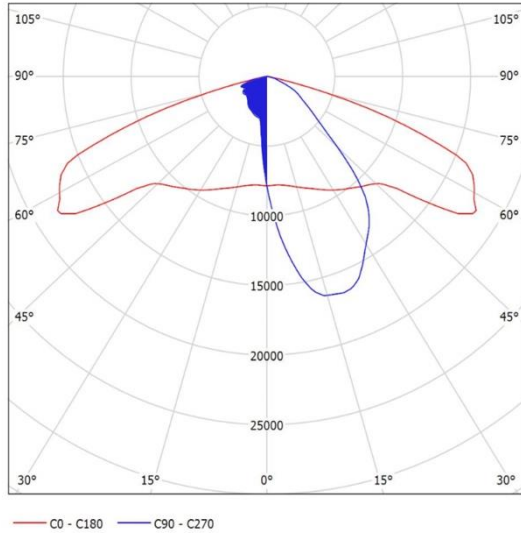
Armatürlerin ışık şiddeti dağılım eğrileri, çeşitli doğrultularda sağladıkları ışık şiddetleri hakkında bilgi verir. C- γ koordinat sisteminde, armatürden geçen düşey eksen dönme eksenini olarak alınır. Işık şiddeti değerleri de C düzlemlerindeki γ açıları için verilir. Şekil 2’de örnek bir yol aydınlatması armatürü için C- γ düzlemleri gösterilmiştir.



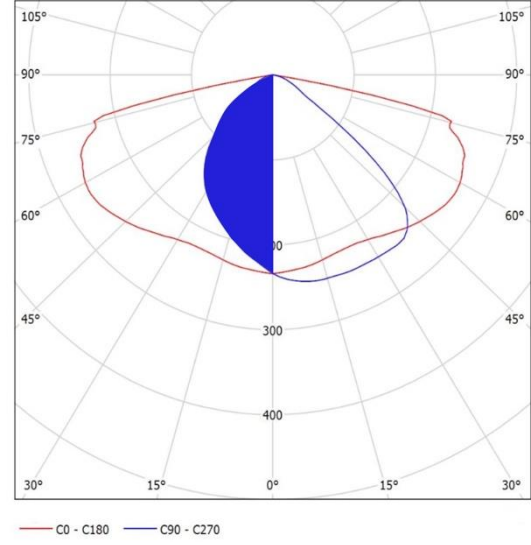
Şekil 2. C - γ düzlemleri

Armatür veri tabanındaki dağılımlar C_{270°} düzlemleri için incelenerek, refüj tarafına daha az ve daha fazla ışık yollayan olmak üzere Şekil 3’te gösterilen iki farklı ışık şiddeti dağılım eğrisi seçilmiştir.

Dağılım 1



Dağılım 2



Şekil 3. Seçilen ışık dağılım eğrileri

Şekil 3’den görülebileceği gibi, Dağılım 2’nin C_{270°} düzlemine yolladığı ışık miktarı, Dağılım 1’dekinden daha fazladır. Dağılımlar, simülasyonlar için Dialux’e aktarılmıştır. İlk olarak orta refüj genişliği 1 metre ve konsol uzunluğu 2 metre alınarak armatürlerin yol içine 1,5 metre girdiği konumda, yolun gidiş-dönüş her iki yönünde M2-M2 aydınlatma sınıfı gereklilerinin sağlandığı senaryoda her iki armatür ışık şiddeti dağılımı için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Farklı ışık şiddeti dağılımlarına sahip armatürlerin ışık akıları, CEN/TR 13201-2 : 2016 “Yol Aydınlatması – Bölüm 2: Performans Gereklilikleri” nde verilen M2 aydınlatma sınıfı gereksinimlerini karşılayacak şekilde belirlenmiştir [5]. M2 yol aydınlatma sınıfı için sağlanması gereken aydınlatma kriterleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. M2 aydınlatma sınıfı için gerekli aydınlatma kriterleri

$L_{ort}(cd/m^2)$	U_o	U_l	$f_{T1} (%)$	R_{EI}
$\geq 1,5$	$\geq 0,40$	$\geq 0,70$	< 10	$> 0,35$

L_{ort} : Ortalama parlaklık, U_o : Ortalama parlaklık düzgünlüğü, U_l : Boyuna parlaklık düzgünlüğü, f_{T1} : Kamaşma bağlı eşik artışı, R_{EI} : Çevreleme oranı

Güç değerlerini normalize etmek için farklı ışık dağılımlı her iki armatürün de etkinlik faktörlerinin 125 lm/W olduğu ve güç seviyesinin ışık akısı ile doğrusal olarak değiştiği varsayılmıştır. Daha sonra her iki yöndeki armatürlerin de ışık akıları değiştirilerek M2-M4 ve M2-%10 senaryoları sağlanmıştır. Refüj genişliği 1 metre kabul edilerek, farklı ışık dağılımlı armatürlerin kullanılması durumlarında minimum armatür ışık akısı değerleri hesaplanmış, farklı senaryolardaki tek yönlü M2 koşullarının sağlanması için gerekli artış değerleri de dikkate alınarak armatür ışık akısı ve güç değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. 1 metre refüj genişliği için tasarım hesap sonuçları

	Dağılım 1			Dağılım 2		
	Işık Akısı (lm)	Güç (W)	M2 Tarafı için Güç Artış Oranı	Işık Akısı (lm)	Güç (W)	M2 Tarafı için Güç Artış Oranı
Yön 1 M2	11500	92,0	-	12180	97,4	-
Yön 2 M2	11500	92,0	-	12180	97,4	-
Yön 1 M2	12750	102,0	%10,9	16443	131,5	%35
Yön 2 M4	4500	36,0		1914	15,3	
Yön 1 M2	13500	108,0	%17,4	16748	134,0	%37,5
Yön 2 %10	1150	9,2		1218	9,7	

Tablo 2'den görüldüğü gibi 1 metre orta refüj genişliği için Dağılım 1'li armatürlerle, M2-M4 senaryosunda M2 aydınlatma sınıfı taraf için %10,9 daha fazla güce ihtiyaç duyulurken, Dağılım 2'li armatür kullanıldığında bu güç farkı %35'e yükselmektedir. M2-%10 senaryosu için ise Dağılım 1'de %17,4 daha fazla güç gerekirken Dağılım 2'de gücün %37,5 oranında yükseltilmesi gerekmektedir. Hesaplamalar 2 metre refüj genişliği için tekrarlanmış ve sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. 2 metre refüj genişliği için tasarım hesap sonuçları

	Dağılım 1			Dağılım 2		
	Işık Akısı (lm)	Güç (W)	M2 Tarafı için Güç Artış Oranı	Işık Akısı (lm)	Güç (W)	M2 Tarafı için Güç Artış Oranı
Yön 1 M2	11500	92,0	-	12615	100,9	-
Yön 2 M2	11500	92,0	-	12615	100,9	-
Yön 1 M2	12500	100,0	%8,7	16443	131,5	%30,3
Yön 2 M4	4750	38,0		2610	20,9	
Yön 1 M2	13000	104,0	%13,0	16965	135,7	%34,5
Yön 2 %10	1150	9,2		1262	10,1	

Tablo 3'te görüldüğü gibi, 2 metre orta refüj genişliği için Dağılım 1'de, M2-M4 ve M2-%10 senaryosu için sırasıyla %8,7 ve %13 daha fazla güce ihtiyaç duyulurken, Dağılım 2'de bu güç farkı sırasıyla %30,3 ve %34,5'e yükselmektedir. 3 metre refüj genişliği için yapılan tasarım hesap sonuçları da Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. 3 metre refüj genişliği için tasarım hesap sonuçları

	Dağılım 1			Dağılım 2		
	Işık Akısı (lm)	Güç (W)	M2 Tarafı için Güç Artış Oranı	Işık Akısı (lm)	Güç (W)	M2 Tarafı için Güç Artış Oranı
Yön 1 M2	12000	96,0	-	13050	104,4	-
Yön 2 M2	12000	96,0	-	13050	104,4	-
Yön 1 M2	12300	98,4	%2,5	16313	130,5	%25
Yön 2 M4	5000	40,0		3263	26,1	
Yön 1 M2	13000	104,0	%8,3	16965	135,7	%30
Yön 2 %10	1200	9,6		1305	10,4	

Üç metre refüj genişliğinde Dağılım 1 için güç farkı %2,5 ve %8,3 iken, Dağılım 2 için fark %25 ve %30 olarak hesaplanmaktadır. Üç farklı refüj genişliği için yapılan tasarım hesapları sonucunda, refüjün genişliği arttıkça diğer şeritten gelen katkı azaldığından, gidiş ve dönüş yönlerinde farklı aydınlatma sınıflarının yaratıldığı senaryolarda M2 aydınlatma sınıfı koşullarını sağlamak için gereken güç farkının da azaldığı görülmektedir.

3. SONUÇ

Normal çalışma koşullarında M2 aydınlatma sınıflı olan orta refüjden çift konsollu düzenek ile aydınlatılan örnek bir yol için, adaptif aydınlatmada sağlanması gereken kritik senaryolarda iki farklı ışık şiddeti dağılımına sahip armatürlerin kullanılması durumları incelenmiştir. İlk dağılım C_{270° düzlemine daha az ışık gönderirken, ikincisinin ışık katkısı daha fazla olmaktadır. 1, 2 ve 3 metre olmak üzere üç farklı refüj genişliği seçilerek Dialux ile aydınlatma simülasyonları gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, farklı dağılımlı armatürlerin ışık akıları, her iki şerit için M2 aydınlatma sınıfı kriterleri sağlanacak şekilde hesaplanmıştır. Daha sonra gidiş yönü M2, dönüş yönü M4 aydınlatma sınıflı kabul edilerek M2-M4 senaryosu için gerekli ışık akıları hesaplanmıştır. Son olarak, yolun gidiş yönünde araç yoğunluğunun yüksek olduğu dönüş yönünden ise araç geçmediği durumlar için kabul edilen M2-%10 senaryosunda simülasyonlar tekrar edilip armatür ışık akıları hesaplanmıştır. Güç seviyelerini normalize etmek için ışık akısı ve gücün doğrusal olarak değiştiği ve seçilen her iki ışık şiddeti dağılımlarının armatür formuna geldiğinde 125 lm/W etkinliğe sahip olacağı varsayılmıştır.

Tüm senaryolarda M2 tarafı için güç artışı hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 2, 3 ve 4'te gösterilmiştir. Özellikle 1 metre orta refüj genişliği için güç artış oranının M2-M4 senaryosunda %35, M2-%10 senaryosunda %37,5 değerlerine yükseldiği görülmüştür.

Armatür ışık dağılımlarının etkisi incelendiğinde ise, statik veya dinamik adaptif yol aydınlatma uygulamalarında orta refüjde çift konsollu tesisatlar tasarlanırken, mümkün olduğunca C_{270° düzlemine daha az ışık gönderen armatürlerin seçilmesinin gerektiği ortaya çıkmaktadır. Bu çalışma kapsamındaki

örnek özelinde refüj tarafına daha fazla ışık gönderen armatürlerin kullanılması durumunda, baz senaryoya göre %37,5'a varan oranlarda armatür güçlerinin yükseltilmesine ihtiyaç olabileceği görülmektedir. Bu durum kullanılacak armatürlerin güçlerinin artması, ilk yatırım maliyetlerinin yükselmesi ve sadece baz senaryolara göre basit ışık akısı azaltımı varsayımı ile beyan edilen enerji tasarruf değerlerinin gerçek uygulamalarda gerçekleşmemesi anlamına gelmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] European Committee for Standardization (CEN), <https://www.cencenelec.eu>, 25.06.2022 tarihinde erişildi.
- [2] Uluslararası Aydınlatma Komisyonu, CIE. <http://cie.co.at/>, 25.06.2022 tarihinde erişildi.
- [3] CEN/TR 13201-1: 2014, Yol Aydınlatması – Bölüm 1: Aydınlatma Sınıflarının Seçimi
- [4] Dialux, <http://www.dial.de>, 25.06.2022 tarihinde erişildi
- [5] CEN/TR 13201-2: 2016, Yol Aydınlatması – Bölüm 2: Performans Gereklilikleri