

YOL AYDINLATMASI TESİSATLARINDA ARMATÜR FOTOMETRİK DEĞERLERİNİN ÖNEMİ

Önder GÜLER
onder.guler@itu.edu.tr

Sermin ONAYGİL
onaygil@itu.edu.tr

İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü,
Ayazağa Yerleşkesi, 34469, Maslak, İstanbul

ÖZET

Bu çalışmada, örnek bir yol modelinde yapılan 20 farklı tasarım ile armatürlerin fotometrik değerlerinin gerçekleştirilen tesisatların aydınlatma kalite kriterlerini ve maliyetlerini önemli ölçüde etkilediği gösterilmiştir. Sonuçlar karşılaştırılarak görüş koşulları açısından uygun, ama aynı zamanda ekonomik olan optimum çözümlerin ancak yarı ekranlı tip armatürlerle sağlanabildiği gösterilmiştir. Diğer yandan, yarı ekranlı armatür sınıflandırmasının çok genel olduğu, aynı sınıfa girmesine rağmen armatürlerin ışık dağılımlarının birbirinden çok farklı olabildiği vurgulanarak, verimli yol aydınlatması tesisatlarının gerçekleştirilebilmesi için kullanılması düşünülen armatürlerin detaylı fotometrik değerleri ile tasarım hesaplarının yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

1. GİRİŞ

Türkiye’de sokak aydınlatması amaçlı tüketilen yıllık elektrik enerjisi, tüm elektrik enerjisi tüketimi içinde yaklaşık %3,5’luk orana sahiptir [1]. Bu oran enerji verimliliğinin kötü olduğu yeni üye ülkeleri de içine alan 27 üyeli Avrupa Birliği’nde ortalama %2,7’dir [2]. Küresel ısınmanın önemli bir nedeni olarak görülen enerji üretiminin en aza indirilmesi amaçlı Belediyelerle ortaklaşa yürütülen enerji verimliliği projelerinde, özellikle şehirlerdeki sokak aydınlatmaları üzerinde önemle durulmaktadır [3]. Uzun saatler boyunca kullanılan, yeterli aydınlatma kriterleri sağlanamadığında güvenlik sorunları oluşturan bu aydınlatmalarda enerji, mal ve can güvenliği açısından elde edilebilecek tasarruf oranları büyük boyutlara ulaşabilmektedir. Gereksiz enerji tüketiminin önüne geçilmesi ve uygun görüş koşullarının sağlandığı emniyetli bir aydınlatma yaratılabilmesi için, detaylı tasarım hesaplarının yapıldığı optimum yol aydınlatması çözümlerine ihtiyaç vardır. Tasarım aşamasında tesisatın

yatırım ve işletme maliyetini etkileyen parametreler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Mevcut yol için gerekli aydınlatma kriterlerinin belirlenmesi,
- Yol yüzeyinin yansıma özelliklerinin belirlenmesi (parıltı düzeyi esas alındığında),
- Uygun lamba seçimi,
- Uygun armatür seçimi,
- Tasarım hesaplarının yapılması.

Optimum tasarım sonuçlarına ulaşılabilmesi için, özellikle kullanılan lamba ve armatür gibi aydınlatma elemanlarının doğru ve detaylı teknik bilgilerine ihtiyaç vardır. Bu teknik bilgilerin tesis sahibinin şartname ve yönetmelikleri ile belirlenmesi gerekmektedir. Türkiye’de şehir ve kırsal kesimlerde bulunan yaklaşık 5 milyon aydınlatma direğinin tesis ve bakım sorumluluğu Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi (TEDAŞ)’dadır. Son yıllarda ise, İstanbul, Ankara, İzmir gibi büyük şehirlerimizde yol aydınlatması tesisleri yatırımları Büyükşehir Belediyeleri tarafından gerçekleştiril-

mektedir. Belediyeler tarafından kaliteli aydınlatma elemanları kullanılarak tesis edilen bu tesisatlar, konumları nedeni ile ayrı bir öneme sahiptir. Gerek TEDAŞ, gerekse Belediyeler tarafından gerçekleştirilen yol aydınlatması tesislerinde projeleri yönlendirecek şartname ve yönetmeliklerin eksikliği görüldüğünden, TEDAŞ ve İTÜ Enerji Enstitüsü arasında oluşturulan danışmanlık sözleşmeleri kapsamında iki yılı aşkın bir süredir devam eden çalışmalar sonucunda şehiriçi yol aydınlatma kriterleri, lamba ve armatür şartnameleri hazırlanmış ve uygulamaya konulmuştur. Ancak alışlagelmiş sistemin düzenlenerek yeniden yapılandırılmasında hala bazı sorunlar yaşanmaktadır. TEDAŞ sorumluluğundaki mevcut yol aydınlatmalarının yeni standartlara göre yenilenmesinde, bütçe yetersizliği nedeni ile uzun sürelere ihtiyaç vardır. Bundan sonra gerçekleştirilecek yeni tesisatlarda yönetmelik ve şartnamelerce belirlenmiş teknik çözümlerin uygulanma zorunluluğu olması sevindiricidir. Bütçe açısından daha rahat hareket edilebilen Belediye uygulamalarında ise, hala aydınlatma kriterlerini içeren yönetmelik eksikliği mevcuttur. Bu uygulamalarda gerekli tasarım hesapları yapılmadan, eski direk çıkarılıp yerine yeni direk dikilmesi sonucunda, olması gerekenden çok yüksek düzeylerde aydınlatmalar gerçekleştirilmektedir. Halkın ilgisini çekme amaçlı, optimum çözümlerden uzak, gereğinden fazla enerji tüketen tesisatlar, günümüzün önemli odak konusu olan enerji verimliliği kavramı ile tamamen çelişkili uygulamalardır.

Bu çalışmada, emniyetli ve konforlu bir yol aydınlatması yaratılırken tasarım hesaplarının önemi, özellikle aydınlatma armatürlerinin teknik özellikleri üzerinde durularak açıklanmaya çalışılmıştır. Beş farklı ışık dağılımına sahip armatür kullanılarak bir yol modelinde

gerçekleştirilen tasarım hesapları sonucunda, yaratılan tesisatların on yıllık tesis ve işletme masrafları karşılaştırılarak konunun önemi vurgulanmıştır. Sonuç olarak özellikle TEDAŞ için hazırlanıp Eylül 2006 itibari ile uygulamaya konulan Armatür Şartnamelerinde üretici firmalar tarafından verilmesi istenilen farklı düzlem ve açılardaki toplam 2664 adet ışık şiddeti değerinin neden gerekli olduğu ve nasıl kullanılacağı açıklanmaya çalışılmıştır.

2. AYDINLATMA TASARIM KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ

Günümüz koşullarında yol aydınlatması tasarım kriterlerinin belirlenmesinde Uluslararası Aydınlatma Komisyonu önerileri (CIE) ve Avrupa Birliği standartları (CEN) esas alınmaktadır. CIE 115-1995 nolu yayında sınıflandırma trafik kontrolü, yolun karmaşıklığı ve kullanıcı tiplerine göre yapılırken [4], henüz standart haline gelmemiş CR 13201-1 nolu Avrupa Birliği çalışmasında ise bu sınıflandırmalar yoldan geçen araç sayısı, kavşak- yonca benzeri yol ayırım sıklıkları, suç oranları, park etmiş araçlar gibi parametreler dikkate alınarak daha detaylı bir şekilde verilmektedir [5]. Söz konusu uluslararası çalışmalarda, yapılan önerilerin her ülkenin kendi coğrafik, iklimsel, kültürel, ekonomik koşulları dikkate alınarak uygulanması gerektiği ifade edilmektedir. TEDAŞ ile birlikte yürütülen çalışma kapsamında, her iki uluslararası yayın da dikkatle incelenmiş, geniş bir coğrafya ve farklı kültüre sahip ülkemizde erişilebilir veriler de dikkate alınarak, Tablo 1’de gösterilen yol tanımları ve bunlara karşı düşen aydınlatma sınıfları belirlenmiştir.

Tablo 1. Türkiye şehir içi yolları ve aydınlatma sınıfları

Yol tanımı	Ayd. sınıfı
Şehir bağlantı ve çevre yolları (tek veya iki yönlü, kavşaklar ve bağlantı noktaları ile şehir geçişleri dahil) - $H_{12} \geq 90$ km/h ; - $H_{12} < 90$ km/h ;	M1 M2
Şehiriçi ana güzergahlar (bulvarlar ve caddeler ; ring yolları ; dağıtıcı yollar) - $50 \text{ km/h} \leq H_{12} < 90 \text{ km/h}$; 3 km' den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı var ; - $50 \text{ km/h} \leq H_{12} < 90 \text{ km/h}$; 3 km' den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı yok ; - $H_{12} < 50$ km/h ;	M1 M2 M3
Şehiriçi yollar (yerleşim alanlarına giriş çıkışın yapıldığı ana yollar ve bağlantı yolları) - $H_{12} \geq 50$ km/h ; 3 km' den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı var ; - $H_{12} \geq 50$ km/h ; 3 km' den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı yok ; - $H_{12} < 50$ km/h ; 3 km' den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı var ; - $H_{12} < 50$ km/h ; 3 km' den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı yok ;	M3 M4 M4 M5
Yerleşim (ikametgah) bölgelerindeki yollar - $30 \leq H_{12} < 50$ km/h ; suç oranı yüksek ; - $30 \leq H_{12} < 50$ km/h ; suç oranı normal ; - $H_{12} < 30$ km/h ; suç oranı yüksek ; - $H_{12} < 30$ km/h ; suç oranı normal ;	M4 M5 M5 M6

M1 ve M6 arasında değişen altı farklı aydınlatma sınıfında güvenli ve konforlu bir yol aydınlatması yaratılabilmesi için, yol üzerinde sağlanması gereken aydınlatmanın kalite büyüklükleri de Tablo 2' de verilmektedir [4, 5]. Tabloda verilen ve yol üzerinde yaratılması amaçlanan parıltı düzeyi ve diğer kalite büyüklüklerinin tasarım aşamasında hesaplanan değerlerinin, gerçek yol koşulları ile uyumlu olması için

aydınlatılan yol yüzeylerinin yansıtma özelliklerinin de bilinmesi gerekmektedir. Maalesef ülkemizde, Karayollarının sorumluluğundaki otoyollarda bile tasarım aşamasında yol yüzeyi yansıtma özellikleri belirlenememekte ve tüm yollar R3 sınıfı olarak kabul edilmektedir. Sorumlu işletmelerin bu konu üzerinde de dikkatle durması ve ölçüm koşullarını sağlaması gerekmektedir [6].

Tablo 2. Farklı aydınlatma sınıfları için sağlanması gereken aydınlatma kalite büyüklükleri

Aydınlatma sınıfı	L_{ort} (cd/m ²)	U_o	U_l	TI (%)	SR
M1	≥ 2.0	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 10	≥ 0.5
M2	≥ 1.5	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 10	≥ 0.5
M3	≥ 1.0	≥ 0.4	≥ 0.5	≤ 10	≥ 0.5
M4	≥ 0.75	≥ 0.4	≥ 0.5	≤ 15	≥ 0.5
M5	≥ 0.50	≥ 0.35	≥ 0.4	≤ 15	≥ 0.5
M6	≥ 0.30	≥ 0.35	≥ 0.4	≤ 15	-

Burada;

L_o : Yolun ortalama parıltısı (cd/m²)

U_o : Ortalama düzgünlük ($U_o = L_{min}/L_{ort}$)

U_l : Boyuna düzgünlük ($U_l = L_{min}/L_{maks}$)

TI : Bağıl eşik artışı ($TI = \{\Delta L_K - \Delta L_e\} / \Delta L_e$).

SR : Çevreleme oranı

3. LAMBA SEÇİMİ

Tesis ve işletme masrafları açısından en verimli lambanın seçilmesi istendiğinde dikkate alınacak değerler, ekonomik ömür ve etkinlik faktörüdür. Lambaların renk özelliklerinin de kullanım amacına uygun olması gerekmektedir.

Ülkemizde TEDAŞ sorumluluğundaki yol aydınlatmalarında Eylül 2006'ya kadar büyük oranlarda yüksek basınçlı civa buharlı lambalar kullanılmıştır. Eski tip teknoloji ile dünyadaki belli ülkeler için üretilen bu lambaların etkinlik faktörleri ve ekonomik ömürleri yeni tip ışık kaynaklarına göre çok düşüktür. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların civa buharlılara oranla daha etkin oldukları anlaşıldıktan sonra da, mevcut civa buharlı lambalı aydınlatma armatürlerinin içinde içten ateşlemeli civa-sodyum karması özel tip ışık kaynakları kullanılmaya başlanmıştır.

Şehir içi yol aydınlatmalarında gereksinim duyulan renk algılama özellikleri düşünüldüğünde, dar bir spektrumda sadece sarı ışık yayan, ama etkinlik faktörleri yüksek olan alçak basınçlı sodyum buharlı lambaların bu amaç için uygun olmayacağı anlaşılmaktadır. Renk algılatırma özelliği açısından bakıldığında, dış aydınlatmaya uygun yoğun ışık akılı kaynaklar olarak metal halojen lambalar karşımıza çıkmaktadır. Ancak bu lambaların normal tiplerinin etkinlik faktörleri ve özellikle ömürleri diğer çözümlere göre düşük değerlerdedir. Diğer yandan elektronik ünitelerle çalıştırılan metal halojen lambaların yeni tipleri ile son yıllarda ömür ve etkinlik faktörleri açısından çok iyi değerlere ulaşılmıştır. İlk tesis alma maliyetleri yüksek olan bu çözümlerin uygulanmasında aydınlatılacak alanda ihtiyaç duyulanlar çok iyi irdelenerek,

ekonomik analizlerin yapılması gerekmektedir.

Türkiye gibi gelişmekte olan, uygulamalarda teknik eleman ve bütçe yetersizliği bulunan bir ülkede, yol aydınlatmalarında istenilen verimin sağlanabilmesi için önerilebilecek en uygun ışık kaynağı “şeffaf tüp yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba” olmaktadır. Renk özellikleri de normal yol aydınlatmalarında kabul edilebilir düzeyde olan bu lambaların ekonomik ömürleri ve ışık akıları, son yıllarda lamba üreticilerinin bu lamba grubuna yaptıkları Ar-Ge yatırımları sonucunda diğerlerine oranla en yüksek değerlere ulaşmıştır. TEDAŞ ile yürütülen çalışmalar sonucunda hazırlanan ve Eylül 2006 itibari ile uygulamaya konulan yeni lamba şartnamesinde de, bu lambaların Tablo 3'de teknik özellikleri verilen en gelişmiş tipleri tanımlanmış ve kullanılmaları zorunlu hale getirilmiştir. Bu lamba grubunun kullanımı için aydınlatma armatürlerinin değişimi de gerektiğinden, mevcut armatürlerde sönen lambaların yerine yenilerinin takılması gibi durumları kapsayan geçiş dönemleri için, içten ateşlemeli yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar şartnameye ilave edilmiştir. Eylül 2006'dan sonra TEDAŞ sorumluluğundaki yol aydınlatmalarında yüksek basınçlı civa buharlı lambaların kullanılması kesin olarak yasaklanmıştır.

4. ARMATÜR SEÇİMİ

Tüm aydınlatma uygulamalarında önemli olmasına rağmen, özellikle dış koşullara dayanıklılığı ve ışığı sadece istenilen alana yönlendirmesi gerekliliği gibi nedenlerle armatür seçimi, yol aydınlatmalarında ayrı bir öneme sahiptir. Fotometrik değerleri bilinmeyen bir armatür ile aydınlatma tasarımı yapılamayacağı ortadadır.

Tablo 3. Yeni yol aydınlatması şartnamesindeki lambaların karakteristik değerleri

Lamba tipi	Lamba gücü (W)	Işık akısı (lm)	Etkinlik fak. (lm/W)*	Ekonomik ömür (saat)**	Renksel geriverim (R _a)
İçten ateşlemeli yüksek basınçlı sodyum buharlı	110	10400	84	9000	20-40
	220	20000	84		
	350	34000	92		
Şeffaf tüp yüksek basınçlı sodyum buharlı	50	4400	72	21000	20-40
	70	6600	80		
	100	10000	87		
	150	17500	104		
	250	33000	120		
	400	56500	132		

* Etkinlik faktörü balast kaybı dikkate alınarak hesaplanmıştır.

** Işık akısının %30 değer kaybettiği ana kadar geçen süre.

Armatürlerin fotometrik değerleri denince, ışık dağılım yüzeyi veya eğrileri, armatür verimi ve parıltı, dolayısıyla kamaşma durumu anlaşılır. Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE)’e göre armatürlerin ışık dağılım eğrileri A, B ve C olmak üzere üç farklı düzlem için verilebilir [7]. Yol aydınlatmasında kullanılan armatürlerin ışık dağılım eğrileri ve hesaplarda kullanılan ışık şiddeti değerleri armatürden geçen düşey eksen dönmeye eksen olarak alan C düzlemlerindeki verilerdir. Armatürler, yayılım, saçılım ve kamaşma derecesine göre üç farklı gruba ayrılır. Özellikle kamaşma, yol aydınlatmasında trafik güvenliği ve konforu açısından çok önemli olduğu için, kullanılacak armatürlerin kamaşmayı sınırlandıracak boyutta olması gerekmektedir. İstenilen parıltı düzeylerinin az sayıda armatür ile sağlanabilmesi için, ışık şiddeti değerleri yoğun ve yaygın dağılımlı armatürlerin kullanılması amaçlanır. Ancak bu tip yoğun ve yaygın ışık dağılımları da görüş güvenliği açısından son derece önemli olan kamaşma tehlikesini ortaya çıkarır.

Kamaşma kontrol altına alınarak, verimli bir aydınlatma yaratılabilmesi armatürlerin ışık dağılım eğrilerine kumanda edilmesi ile mümkün olabilmektedir. CIE önerilerinde, armatürler kamaşma derecesi bakımından $C=0^\circ$ ve $C=20^\circ$ düzlemlerindeki ışık dağılım eğrilerinin şekli ve değerlerine göre Tablo 4’ deki gibi ekranlı, yarı ekranlı ve ekransız olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır. Tablodaki ışık şiddeti değerleri, armatür içindeki lambanın ışık akısı 1000 lm kabul edilerek verilmektedir.

TEDAŞ Malzeme Yönetimi ve Satın alma Dairesi Başkanlığı’nca Eylül 2006’da uygulamaya konulan yeni “Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi”nde de armatürlerin kamaşma kontrolleri “ $50\text{cd}/1000\text{lm} < I_{80} \leq 100\text{cd}/1000\text{lm}$, $30\text{cd}/1000\text{lm} < I_{90} \leq 50\text{cd}/1000\text{lm}$ ve maksimum ışık şiddetinin düşeyle yaptığı açı $65^\circ < \gamma \text{ maks.} \leq 75^\circ$ arasında olmalıdır” ifadesi ile yapılarak, CIE önerilerindeki yarı ekranlı armatür tipi tanımlanmaktadır [8].

Tablo 4. CIE’ e göre armatürlerin sınıflandırılması

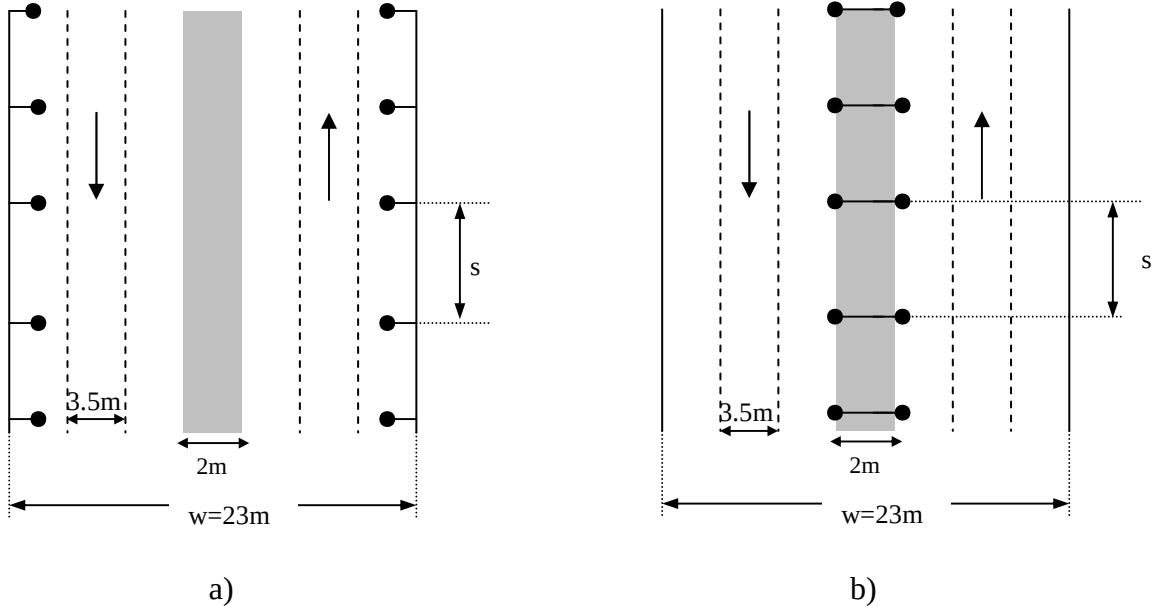
Armatür Tipi	I_{80°	I_{90°	I_{max} ’ın doğrultusu (γ açısı)
Ekranlı	30 cd	10 cd	$0-65^\circ$
Yarı Ekranlı	100 cd	50 cd	$0-75^\circ$
Ekransız	*1000cd		

*Işık şiddeti en fazla 1000cd olabilir.

5. YOL MODELİNDE TASARIM VE MALİYET HESAPLARI

Farklı fotometrik özelliklere sahip armatürlerin, tasarlanacak tesisatın aydınlatma kriterleri ve maliyeti üzerine etkilerini belirleyebilmek için bir yol modelinde tasarım ve maliyet hesapları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada örnek olarak alınan yol, aslında İstanbul'da şehiriçi bir ana güzergah yoludur. Şematik olarak Şekil 1'de gösterilen örnek yol her biri 3,5 metre genişliğinde üç gidiş ve üç geliş altı şerit ve ortada iki metre genişliğindeki bir refüjden ibaret olup, toplam 23 metre genişliğindedir. Üç metreden kısa aralıklarla kavşak veya yonca ayrımlarının olmadığı bu örnek yolda hız limitinin ilk olarak 50 km/h'ile 90 km/h arasında olduğu, ikinci durum olarak da trafiğin yoğun olduğu saatlerde 50 km/h'in altında hızlarla gidildiği kabul edilmiştir. Tablo 1'de verilen tanımlara göre örnek yol ilk durumda M2, ikinci durumda ise M3 aydınlatma sınıfına girmektedir. M2 ve M3 olmak üzere iki farklı aydınlatma sınıfındaki örnek yolun

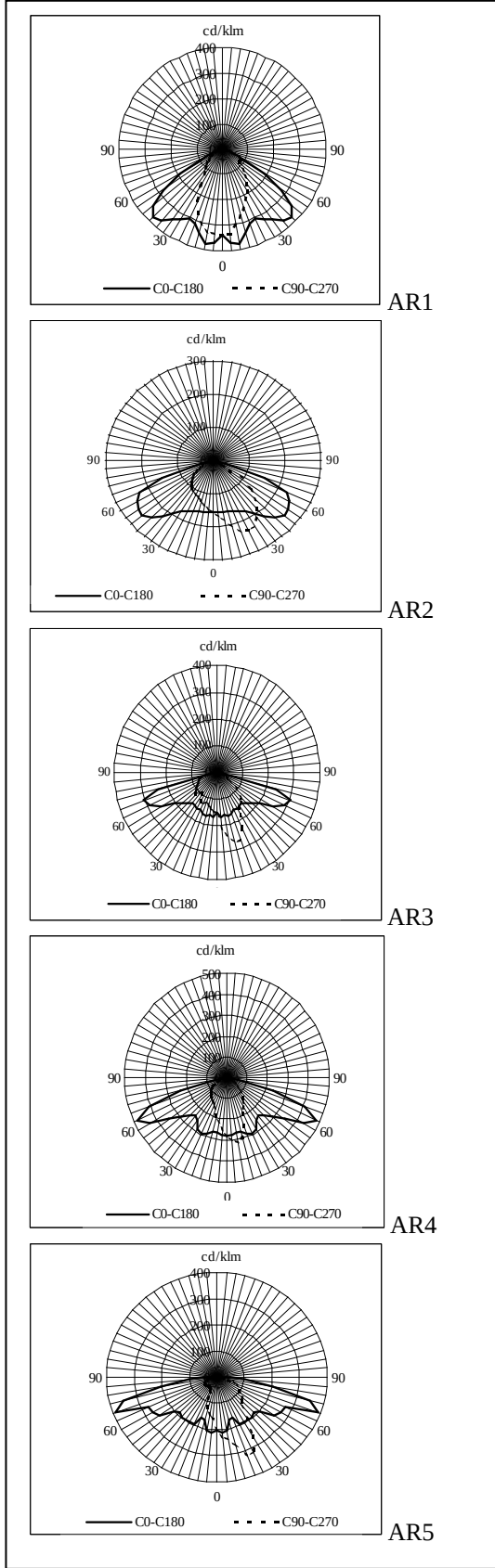
karşılıklı ve refüjden çift konsollu düzeneklerle aydınlatılması halleri olan dört farklı durumda, Şekil 2'de ışık dağılım eğrileri verilen beş farklı armatür fotometrik verileri kullanılarak, Tablo 2'de verilen aydınlatma kriterlerinin sağlanması koşulu ile, tasarım hesapları yapılmıştır. Tasarım hesaplarında IP65 koruma sınıflı armatürlerin orta kirli bir ortamda iki yıllık sürelerde periyodik bakımlarının yapılabilirdiği kabulü ile bakım-işletme faktörü 0.89 olarak alınmıştır [9]. Yol kaplaması R3 sınıfı olarak kabul edilmiştir. Hesaplarda kullanılan ve ışık dağılım eğrileri Şekil 2'de verilen beş farklı aydınlatma armatüründen AR1 ve AR2 kodlu olanlar CIE sınıflandırma sistemine göre ekranlı, AR3 ve AR4 kodlu olanlar yarı ekranlı, AR5 kodlu olan ise ekransız armatür tipleridir. Şekildeki ışık dağılımlarından da anlaşıldığı gibi, aynı sınıfa giren armatürlerin ışık şiddeti değer ve yönlerinde büyük farklılıklar olabilmektedir.



Şekil 1. Hesaplarda örnek olarak alınan yol modeli

a) Karşılıklı aydınlatma düzeneği

b) Refüjden çift konsollu aydınlatma düzeneği



Şekil 2. Hesaplarda kullanılan armatürlere ait ışık dağılım eğrileri

Örneğin genel bir sınıflandırma ile yarı ekranlı tip olarak tanımlanan AR3 ve AR4 kodlu armatürlerin ışık şiddeti değerleri birbirinden oldukça farklıdır. M2 aydınlatma sınıfı yol tasarımında armatürlerin içine 250 W, M3 aydınlatma sınıfı yol tasarımında ise 150 W şeffaf tüp yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar yerleştirilmiştir.

Bu verilerle gerçekleştirilen toplam 20 tasarımın 10 yıllık kullanım süresi boyunca tesis ve işletme olmak üzere toplam maliyetleri de hesaplanmıştır. Tasarım hesapları sonucunda elde edilen tesisat ve aydınlatma kriterleri, maliyet ve yıllık enerji tüketimleri ile birlikte, aydınlatma sınıfı ve düzeneği parametre alınarak oluşturulan Tablo 5, 6, 7 ve 8’de verilmektedir.

M2 aydınlatma sınıfı yolun karşılıklı düzenek ile aydınlatılması halinde beş farklı armatür ile gerekli aydınlatma kriterleri sağlanarak oluşturulan tesisat bilgileri Tablo 5’de verilmektedir.

Tablo 5’ den görüldüğü gibi en yüksek maliyet, ekranlı tip olan AR1 kodlu armatürün kullanılmasıyla elde edilmiştir. Bu armatür yerine AR2, AR3 ve AR4 kodlu ekranlı veya yarı ekranlı armatürlerin kullanılmasıyla sırasıyla %15,9, %23,7 ve %32,0 daha düşük maliyetler elde edilebilmektedir. Yarı ekranlı armatürler olan AR3 ve AR4’lü tesisatlarda yolun ortalama parıltı düzeyinin diğer çözümlere göre daha yüksek olduğu da ilgi çekicidir. Ekranlı tip olan AR5 kodlu armatür ile gerçekleştirilen tesisatta AR1’e oranla %42,6 daha düşük olan en ucuz maliyet elde edilmesine rağmen, kamaşma kriteri TI eşik artışı için gerekli 10 değerinin altında kalınması mümkün olmamıştır. Bu durumda görüş koşulları açısından uygun ve en verimli çözüm AR4 kodlu yarı ekranlı armatür ile elde edilebilmiştir.

Tablo 5. M2 aydınlatma sınıflı yolun karşılıklı düzenek ile aydınlatılması hali

	AR1	AR2	AR3	AR4	AR5
s (m)	33	42	48	56	70
h (m)	15	15	15	15	15
k (m)	1.5	2	2.5	1.5	2
θ_k (°)	5	10	15	10	10
θ_a (°)	5	0	0	10	0
L_{ort} (cd/m ²)	1.50	1.52	1.87	1.61	1.50
U_o	0.57	0.58	0.50	0.62	0.48
U_l	0.70	0.71	0.73	0.70	0.75
TI (%)	2.7	4.7	10	9.5	21.5
SR	0.84	0.61	0.60	0.60	0.55
M (YTL/10yıl)	490003	412262	373801	333323	281446
T (kWh/yıl)	60225	48180	42158	36135	28105

(s: direkler arası mesafe ; h:direk yüksekliği ; k: konsol boyu ; θ_k :konsol açısı ; θ_a :armatür açısı ; L_{ort} :ortalama yol parıltısı ; U_o : ortalama parıltı düzgünlüğü ; U_l ; boyuna parıltı düzgünlüğü ; TI : Bağlı eşik artışı ; SR: Çevreleme oranı ; M : 10 yıllık toplam maliyet ; T : Yıllık elektrik enerjisi tüketimi)

M2 aydınlatma sınıflı yolun bu defa refüjden çift konsollu düzenek ile aydınlatılması halinde, yine beş farklı armatür ile gerekli aydınlatma kriterleri sağlanarak oluşturulan tesisat bilgileri Tablo 6’da verilmektedir.

Tablodan da görüldüğü gibi AR1 ve AR5 kodlu armatürler ile örnek yol modelinde bu düzenek için istenilen aydınlatma kriterlerinin (Tablo 2) tamamını sağlayan çözümler bulunamamıştır. Ekranlı tip armatür olan AR1 kullanıldığında boyuna parıltı düzgünlüğü ve çevreleme oranı değerleri istenilen değerlerin altında kalmıştır. Buna karşılık ekransız tip armatür olan AR5 kodlu armatür

kullanıldığında ise, karşılıklı aydınlatma düzeneğinde olduğu gibi yine toplam maliyet en düşük olmasına rağmen kamaşma sınırlaması izin verilen değerin oldukça üzerindedir. Bu düzenekte de M2 aydınlatma sınıfı için istenilen aydınlatma kriterlerini sağlayan yarı ekranlı tip AR3 ve AR4 kodlu armatürlerle oluşturulan tesisatların toplam maliyetleri ekranlı tip olan AR2 kodlu armatürün kullanıldığı tesisata göre %20,8 daha düşüktür. Bu durumda görüş koşulları açısından uygun ve en verimli çözüm AR3 ve AR4 kodlu yarı ekranlı armatürler ile elde edilebilmiştir.

Tablo 6. M2 aydınlatma sınıflı yolun refüjden çift konsollu düzenek ile aydınlatılması hali

	AR1	AR2	AR3	AR4	AR5
s (m)	35	42	52	53	64
h (m)	15	15	15	15	15
k (m)	2.5	2	2.5	2.5	2
θ_k (°)	15	10	15	15	10
θ_a (°)	15	0	0	15	0
L_{ort} (cd/m ²)	1.73	1.50	1.61	1.64	1.57
U_o	0.41	0.59	0.57	0.54	0.40
U_l	0.57	0.73	0.76	0.71	0.75
TI (%)	2.9	4.5	9.9	10	26.1
SR	0.46	0.64	0.63	0.64	0.57
M (YTL/10yıl)	374091	317427	262010	262010	228002
T (kWh/yıl)	58218	48180	38143	38143	32120

M3 aydınlatma sınıfı yolun karşılıklı düzenek ile aydınlatılması halinde beş farklı armatür ile gerekli aydınlatma kriterleri sağlanarak oluşturulan tesisat bilgileri Tablo 7’de verilmektedir.

Tablo 7’ den de görüldüğü gibi en yüksek maliyet ekranlı tip olan AR1 kodlu armatürün kullanılmasıyla oluşmaktadır. AR1 kodlu armatürün yerine AR2, AR3 ve AR4 kodlu armatürlerin kullanılmasıyla sırasıyla %9,4, %23,3 ve %28,8 daha düşük maliyetli tesisatlar elde edilmiştir. Ekranlı tip armatür olan AR5’ in kullanılmasıyla gerçekleştirilen tesisat AR1’li tesisata oranla %33,6 daha düşük maliyetli olmasına rağmen, örnek yol modelinde kamaşma sınırlama katsayısı istenilen değerlerin altında olan tesisat yaratılamamıştır. Bu durumda da görüş koşulları açısından uygun ve en verimli çözüm yine AR4 kodlu yarı ekranlı armatür ile elde edilebilmiştir.

M3 aydınlatma sınıfı yolun refüjden çift konsollu düzenek ile aydınlatılması halinde yine beş farklı armatür ile gerekli aydınlatma kriterleri sağlanarak

oluşturulan tesisat bilgileri de Tablo 8’de verilmektedir.

Tablodan da görüldüğü gibi AR1 ve AR5 kodlu armatürler ile örnek yolda refüjden çift konsollu düzenek için istenilen kriterleri sağlayan uygun çözümler bulunamamıştır.

Ekranlı tip armatür olan AR1 kullanıldığında çevreleme oranı değeri istenilen değer altında kalmıştır. Buna karşılık ekranlı tip olan AR5 kodlu armatür kullanıldığında ise, karşılıklı aydınlatma düzeneğinde olduğu gibi, en az maliyetli sistem elde edilmesine rağmen kamaşma sınırlama katsayısı izin verilen değerin oldukça üzerinde kalmaktadır.

Bu düzenekte de yarı ekranlı tip ve ışık dağılımı daha yaygın olan AR3 ve AR4 kodlu armatürlerin kullanıldığı tesisatın toplam maliyetleri ekranlı tip AR2 armatürlü tesisatın maliyetine göre sırasıyla %14,1 ve %20,4 daha düşüktür. Bu durumda da kullanılacak en verimli armatür AR4 kodlu olmalıdır.

Tablo 7. M3 aydınlatma sınıfı yolun karşılıklı düzenek ile aydınlatılması hali

	AR1	AR2	AR3	AR4	AR5
s (m)	31	36	47	50	55
h (m)	12	12	14	12	12
k (m)	1,5	2	1,5	1,5	1
θ_k (°)	10	5	10	10	10
θ_a (°)	10	0	0	10	0
L_{ort} (cd/m ²)	1.00	1.00	1,00	1,02	1.00
U_o	0.50	0.55	0,57	0,57	0.57
U_l	0.59	0.66	0,70	0,63	0.77
TI (%)	2.7	4.3	9,3	10	18,7
SR	0.64	0.56	0,58	0,55	0.51
M (YTL/10yıl)	424821	384705	325662	302377	281297
T (kWh/yıl)	39245	34339	25754	24528	22075

Tablo 8. M3 aydınlatma sınıfı yolun refüjden çift konsollu düzenek ile aydınlatılması hali

	AR1	AR2	AR3	AR4	AR5
s (m)	32	36	46	50	52
h (m)	15	12	15	15	14
k (m)	2.5	1.5	1,5	1,5	1.5
θ_k (°)	15	5	5	10	5
θ_a (°)	15	5	0	10	5
L_{ort} (cd/m ²)	1.00	1.00	1,01	1,02	1.01
U_o	0.40	0.49	0,48	0,42	0.41
U_l	0.61	0.70	0,80	0,73	0.72
TI (%)	2.4	4.7	9,0	9,8	14.9
SR	0.46	0.53	0,58	0,50	0.56
M (YTL/10yıl)	338130	294642	252999	234468	221770
T (kWh/yıl)	38018	34339	26981	24528	23302

6. SONUÇ

Bu çalışmada, örnek bir yol modelinde gerçekleştirilen tasarım hesapları sonucunda armatürlerin fotometrik değerlerinin tesisatların tesis ve işletme maliyetlerini önemli ölçüde etkilediği gösterilmiştir.

Genel bir yaklaşımla, ekranlı armatürler kullanıldığında direkler arası mesafenin fazla açılmadığı, ekransız armatürlerle ise en uzun direkler arası mesafelere ulaşıldığı söylenebilir. Aynı aydınlatma kriterlerinin daha uzun direk açıklıklarında, dolayısı ile daha az armatür kullanılarak yaratılabildiği ekransız armatürlü tesisatlarda kamaşma sınırlamasının istenilen değerinin sağlanması çok zordur. Gerekli aydınlatma kriterlerini sağlayan ve ekonomik olan optimum çözümler ancak yarı ekranlı armatürlerle gerçekleştirilebilmektedir.

Yeni hazırlanan TEDAŞ şartnamelerinde de bu yaklaşımla, yarı ekranlı armatürlerin tanımları yapılmıştır. Ancak bu çalışmadaki örnekten de açıkça görüldüğü gibi, yarı ekranlı sınıfına girmelerine rağmen, armatürlerin ışık dağılımları birbirinden çok farklı olabilmektedir. AR3 ve AR4 kodlu armatürlerin her ikisi de,

şartnamede tanımlanan özelliklere sahip yarı ekranlı armatürlerdir. Ancak AR4 kodlu armatürün kullanıldığı tesisat, AR3 kodlu olana göre çok daha ekonomik olmaktadır.

Bu nedenle verimli yol aydınlatması tesisatlarının yaratılabilmesi için, şartnamedeki genel sınırlamalar ile yarı ekranlı sınıfına giren armatürlerin, yine şartnamede verilmesi zorunlu tutulan 2664 adet ışık şiddeti değerlerinin mutlaka değerlendirilmesi gerekmektedir. Optimum çözümler ancak armatürlerin ışık şiddeti değerlerinin veri olarak kullanıldığı, uygun tasarım programları ile gerçekleştirilebilmektedir. Armatürlerin fotometrik değerlerinin kullanıldığı detaylı tasarım hesapları yapılmadan gerçekleştirilen yol aydınlatması tesisatları, görüş koşulları açısından sorun yaratabildikleri gibi, ilk tesis maliyetleri ve elektrik enerjisi tüketimleri bakımından da günümüz koşullarında kabul edilemeyecek uygulamalar olabilmektedir.

KAYNAKLAR

[1] TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu, Enerji İstatistikleri, www.tuik.gov.tr

[2] Berrtoldi P.,Atanasi B., “Electricity Consumption and Efficiency Trends in the Enlarged European Union”-Status Report 2006, European Commission Joint Research Centre.

[3] UN Economic and Social Council, Economic Commission for Europe, Committee on Sustainable Energy, Steering Committee of the Energy Efficiency 21 Project, “Final Report of Energy Efficiency Investment Project Development for Climate Change Mitigation”, ECE/ENERGY/WP.4/2006/2, 21 March 2006.

[4] CIE Pub. 115 (1995), Recommendations for the Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic.

[5] CR 13201-1, (2002), The Selection of Lighting Classes for Road Lighting.

[6] Onaygil S., Yol Aydınlatması Projelerinde Yol Sınıflarının Belirlenmesinin Önemi, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 7. Ulusal Kongresi, sayfa.414-417, Ankara, Eylül 1997.

[7] Philips Lighting Manual, 1993, Fifth Edition, Netherlands.

[8] Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi (TEDAŞ), www.tedas.gov.tr

[9] CIE Pub. 154, (2003), The Maintenance of Outdoor Lighting Systems.