

# YOL AYDINLATMALARINDA LED KULLANIMI

Sermin ONAYGİL  
onaygil@itu.edu.tr

Önder GÜLER  
onder.guler@itu.edu.tr

Emre ERKİN  
erkinem@itu.edu.tr

İTÜ Enerji Enstitüsü, Enerji Planlaması ve Yönetimi Anabilim Dalı,  
34469, Maslak, İstanbul

## ÖZET

*Bu çalışmada LED'lerin yol aydınlatması tesisatlarında kullanılabilirliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Yapılan maliyet analizleri sonucunda, tesisatların ilk kurulum maliyetleri ve kullanım süreleri boyunca toplam maliyetleri diğer alternatif çözümlerle karşılaştırılarak verilmiştir. Gerçek veriler kullanılarak gerçekleştirilen maliyet analizlerinde LED'li yol aydınlatması tesisatlarının alternatifleri olan şeffaf yüksek basınçlı sodyum buharlı ve seramik deşarj tüplü metal halojen lambalara göre, kurulum maliyetinde yaklaşık %60; on yıllık kullanım süresince hesaplanan toplam maliyetlere göre de %55 oranında daha yüksek maliyetli oldukları belirlenmiştir.*

## 1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi üretiminde büyük ölçüde ithal ve fosil kaynakların kullanıldığı ülkemizde de tüm dünyada olduğu gibi, özellikle elektrik enerjisinin verimli kullanılması konusundaki çalışmalar son yıllarda önem kazanmıştır. Türkiye'de tüketilen elektrik enerjisinin yaklaşık %3'ü yol aydınlatmalarını da içine alan genel aydınlatma amaçlı kullanılmaktadır [1]. Oran düşük gibi görünse de, iyi ve kaliteli yol aydınlatmaları ile sağlanacak emniyet ve konfor koşulları, verilmesi gereken sosyal hizmet ve tesisatların günde ortalama 10 saat kullanılma gerekliliği de düşünüldüğünde bu alanda gerçekleştirilecek enerji verimli uygulamaların önemi ortaya çıkmaktadır. Ayrıca kolay uygulanabilir ve takip edilebilir enerji verimliliği uygulamaları oldukları için, tüm dünyada elektrik enerjisi bedelleri düzgün ödenilen sistemlerde yol aydınlatması tesisatlarındaki tasarruf potansiyelleri önemli projeler olarak sürdürülmektedir [2]. Türkiye'de son yıllarda şehir içi yol aydınlatmalarının Büyükşehir Belediyeleri'nin sorumluluğuna geçmesiyle, özellikle İstanbul ve Ankara gibi şehirlerimizde yol ve sokak aydınlatmalarında yüksek düzeyli aydınlatma uygulamaları da artmıştır. Bazen güvenli ve konforlu görüş koşulları için önerilen optimum aydınlatma kriterlerinden daha yüksek değerlerin

yaratıldığı bu uygulamalarda, doğal olarak tesisatların elektrik enerjisi tüketimleri de artmaktadır. Şüphesiz bir şehrin gece de güvenli bir şekilde yaşayabilmesi için yeterli görüş koşullarının sağlandığı kaliteli dış aydınlatma tesisatlarına ihtiyaç vardır. Bir yandan enerji temini konusunda içinde bulunduğumuz darboğaz, diğer yandan yaşam alanlarında güvenli görüş olanaklarının yaratılması gerekliliği özellikle yol aydınlatmalarında en yeni ve verimli teknolojilerin kullanılmasını gerekli kılmaktadır. Ancak verimli yol aydınlatması tesisatlarının sadece lamba veya lamba-armatür değişiklikleri ile gerçekleştirilemeyeceği, söz konusu tesisatların doğru tasarım hesapları ile bir bütün halinde ele alınması gerektiği de bilinmektedir. Amaç yol yüzeyinde yeterli aydınlatma kriterlerini sağlayan, en az enerji tüketen ve bu özelliklerini uzun yıllar sürdürebilen tesisatların gerçekleştirilebilmesidir.

Bu amaçla Türkiye'de 2006 yılında tüm ülke genelinde geçerli olmak üzere yeni uygulama yönetmelikleri hazırlanmıştır. Bu yönetmeliklerle, şehir içi yol aydınlatmalarında yüksek basınçlı civa buharlı lambaların kullanımı yasaklanmış, yüksek etkinlik faktörlü şeffaf tüplü yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların kullanımı zorunlu hale getirilmiştir. Bu düzenlemelerde teknolojisinden emin

olunan, en uzun ömürlü, Türkiye gibi geniş ve farklı bir coğrafyaya sahip bir ülkede fiyat ve temin konusunda sorun yaşanmayacak lamba tipinin seçilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, yol aydınlatması armatürlerinin ışık şiddeti tablolarının üreticiler tarafından verilmesi zorunluluğu da getirilerek sorumlu otoriteler için hazırlanan ticari olmayan bir yol aydınlatması tasarımı bilgisayar yazılımı ile satışı önerilen armatürlerin yol üzerinde sağlayabilecekleri aydınlatma kalite büyüklükleri de kontrol edilebilir hale getirilmiştir [3].

Son yıllarda LED teknolojisinde yaşanan gelişmelere paralel olarak, enerji verimliliği çalışmaları kapsamında yol aydınlatmalarında da LED ışık kaynaklı armatürlerin kullanılması sıklıkla üzerinde durulan bir konu haline gelmiştir. Ancak araç ve yaya güvenliğinin birinci derecede önemli olduğu yol aydınlatmalarında ilk koşul yeterli görüş koşullarının sağlanması olmalıdır. Bu koşulların sağlanabilmesi için gerekli aydınlatma kalite kriterleri de uluslararası standartlar ve ulusal yönetmeliklerimizde tanımlanmaktadır. Özellikle fotometrik değerlerinin belirlenmesinde bazı sorunlar olan LED ışık kaynaklı armatürlerin, yol aydınlatmalarında kullanılmaları ancak gerekli aydınlatma kalite büyüklüklerinin sağlanması koşulu ile düşünülebilir.

Bu çalışmada günümüzde teknolojik olarak erişilebilen en yüksek güçlü LED ışık kaynaklarının kullanılabilirliği, ısı ve dış koşullara dayanıklılık açısından gerekli koşulları sağlayabilen yol aydınlatması armatürlerinin fotometrik verileri kullanılarak gerçekleştirilen tasarım hesapları ile LED'lerin yol aydınlatması

tesisatlarında kullanılabilirliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Yapılan maliyet analizleri sonucunda, tesisatların ilk kurulum maliyetleri ve kullanım süreleri boyunca toplam maliyetleri diğer alternatif çözümlerle karşılaştırılarak verilmiştir. Olası enerji tasarruf olanaklarını ortaya koyabilmek için karşılaştırmalarda tesisatların birim uzunlukları başına kurulu güç değerleri de hesaplanmıştır.

## **2. YÖNETMELİKLERE GÖRE YOL AYDINLATMASI KALİTE BÜYÜKLÜKLERİ**

Günümüz koşullarında yol aydınlatması tasarım kriterlerinin belirlenmesinde Uluslararası Aydınlatma Komisyonu önerileri (CIE) ve Avrupa Birliği standartları (CEN) esas alınmaktadır. CIE 115-1995 nolu yayında yol aydınlatma sınıfları trafik kontrolü, yolun karmaşıklığı ve kullanıcı tiplerine göre belirlenirken [4], CR 13201-1 nolu yayında bu sınıflandırmalar yoldan geçen araç sayısı, kavşak-yonca benzeri yol ayırma sıklıkları, suç oranları, park etmiş araçlar gibi parametreler dikkate alınarak daha detaylı bir şekilde yapılmaktadır [5]. Söz konusu uluslararası çalışmalarda, yapılan önerilerin her ülkenin kendi coğrafik, iklimsel, kültürel, ekonomik koşulları dikkate alınarak uygulanması gerektiği de ifade edilmektedir. 2006 yılında gerçekleştirilen "Türkiye şehir içi yol aydınlatmalarının iyileştirilmesi projesi"nde, 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 aydınlatma sınıfları

Yol tanımı	Ayd. sınıfı
Şehir bağlantı ve çevre yolları (tek veya iki yönlü, kavşaklar ve bağlantı noktaları ile şehir geçişleri dahil) - $H_{1z} \geq 90$ km/h; - $H_{1z} < 90$ km/h;	M1 M2
Şehir içi ana güzergahlar (bulvarlar ve caddeler; ring yolları; dağıtıcı yollar) - $50 \text{ km/h} \leq H_{1z} < 90 \text{ km/h}$ ; 3 km' den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı var; - $50 \text{ km/h} \leq H_{1z} < 90 \text{ km/h}$ ; 3 km' den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı yok; - $H_{1z} < 50$ km/h;	M1 M2 M3
Şehir içi yollar (yerleşim alanlarına giriş çıkışın yapıldığı ana yollar ve bağlantı yolları) - $H_{1z} \geq 50$ km/h; 3 km' den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı var ; - $H_{1z} \geq 50$ km/h; 3 km' den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı yok ; - $H_{1z} < 50$ km/h; 3 km' den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı var ; - $H_{1z} < 50$ km/h; 3 km' den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı yok ;	M3 M4 M4 M5
Yerleşim (ikametgah) bölgelerindeki yollar - $30 \leq H_{1z} < 50$ km/h; suç oranı yüksek; - $30 \leq H_{1z} < 50$ km/h; suç oranı normal; - $H_{1z} < 30$ km/h; suç oranı yüksek; - $H_{1z} < 30$ 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.

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

Aydınlatma Sınıfı	$L_{ort}$ (cd/m <sup>2</sup> )	$U_o$	$U_1$	TI (%)	SR
M1	$\geq 2,0$	$\geq 0,4$	$\geq 0,7$	$\leq 10$	$\geq 0,5$
M2	$\geq 1,5$	$\geq 0,4$	$\geq 0,7$	$\leq 10$	$\geq 0,5$
M3	$\geq 1,0$	$\geq 0,4$	$\geq 0,5$	$\leq 10$	$\geq 0,5$
M4	$\geq 0,75$	$\geq 0,4$	$\geq 0,5$	$\leq 15$	$\geq 0,5$
M5	$\geq 0,50$	$\geq 0,35$	$\geq 0,4$	$\leq 15$	$\geq 0,5$
M6	$\geq 0,30$	$\geq 0,35$	$\geq 0,4$	$\leq 15$	-

Burada;

$L_{ort}$ : Yolun ortalama parlıtsı

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

$U_1$ : Boyuna düzgünlük ( $U_1 = L_{min}/L_{maks}$ )

TI : Bağlı eşik artışı ( $TI = \{\Delta L_K - \Delta L_c\} / \Delta L_c$ )

SR : Çevreleme oranı'dır.

### 3. YOL MODELLERİ İLE TASARIM HESAPLARI

Bu çalışmada, elde edilmesinde zorluklar yaşanan LED ışık kaynaklı yol aydınlatması armatürlerinin fotometrik verilerine ulaşılmaya çalışılmıştır. Yol yüzeylerinde uluslararası önerilere uygun aydınlatma kriterlerini sağlayabilecek bir armatürün uygun ışık dağılım eğrisine ve yeterli

ışık akısına sahip olması gerekmektedir. Dünyanın değişik ülkelerindeki armatür üretici firmalardan elde edilen LED'li yol aydınlatması armatürü fotometrik değerleri, bilgisayar tasarım programına veri olarak girilerek, armatürlerin değişik geometrilere sahip yol yüzeyleri üzerinde sağlayabilecekleri aydınlatma kalite büyüklükleri hesaplanmıştır. Şu an ulaşılabilen en yüksek güçler olan

100W ve 150W LED'li üç adet armatür ile sadece M3, M4 ve M5 yol aydınlatma sınıfları için tasarımlar gerçekleştirilebilmiş, M1 ve M2 aydınlatma sınıfları için kabul edilebilir tesisat geometrilerinde gerekli aydınlatma büyüklüklerinin sağlanması mümkün olmamıştır.

Daha önce de ifade edildiği gibi, Türkiye'de 2006 yılında gerçekleştirilen yönetmelik çalışmaları ile şehir içi yollarda şeffaf tüplü yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların kullanılması zorunlu hale gelmiştir. Tüm dünyada da şeffaf tüplü yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalı yol aydınlatma tesisatları yaygın olarak kullanılmakta ve enerji tasarruflu çözümler olarak kabul edilmektedir [2]. LED'li armatürler ile gerekli aydınlatma kalite büyüklüklerinin elde edilebildiği M3,

M4 ve M5 aydınlatma sınıflı yollarda, yoğun yaya trafiği olduğu zamanlar ışık rengi açısından seramik deşarj tüplü metal halojen lambalı yol aydınlatması armatürlerinin kullanılması da önerilmektedir. Bu nedenlerle, LED ışık kaynaklı armatürlerle elde edilen sonuçlar, şeffaf tüplü yüksek basınçlı sodyum buharlı (YBSB-T) lambalı ve seramik deşarj tüplü metal halojen (SDMH-T) lambalı yol aydınlatması armatürleri ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma çalışmalarında veri olarak kullanılan LED, yüksek basınçlı sodyum buharlı ve metal halojen lambaların güçleri, balast kayıpları, ışık akıları, etkinlik faktörleri ve ekonomik ömürleri Tablo 3'de, armatürlerin ışık dağılım eğrileri de Şekil 1'de verilmektedir.

Tablo 3. Hesaplarda kullanılan lamba verileri

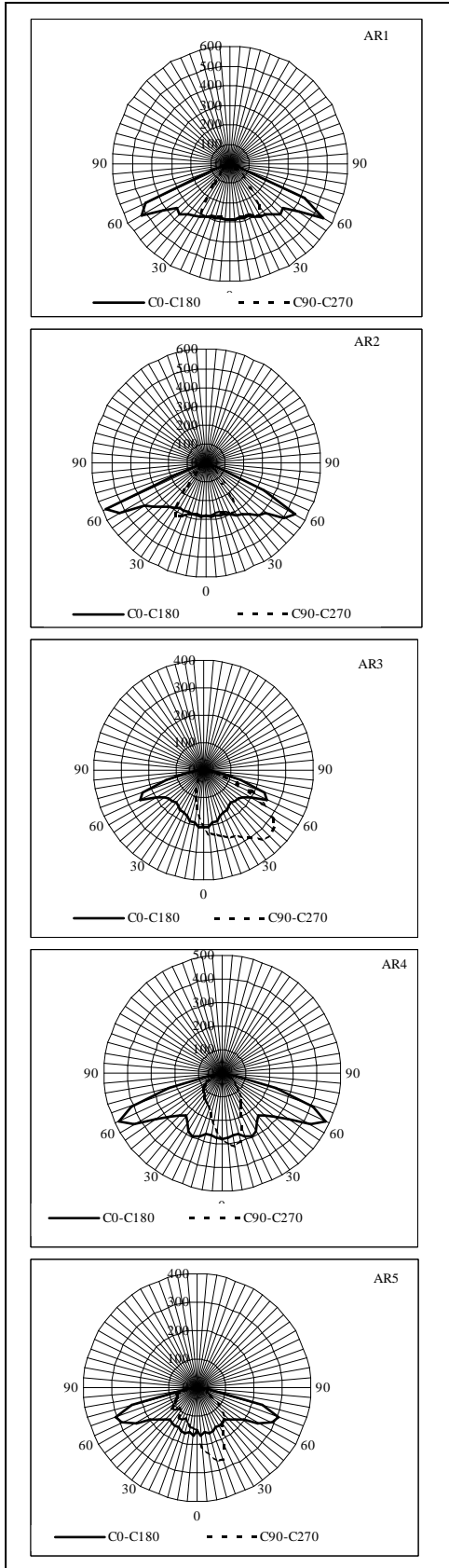
Lamba tipi	Lamba gücü (W)	Balast kaybı (W)	Işık akısı (lm)	Etkinlik Faktörü * (m/W)	Ekonomik ömür ** (saat)
LED	150	0	8006,54	53,4	50000
LED	103,2	0	6716	65,1	
LED	100	0	5345,65	53,5	
YBSB-T	150	20	17000	100	20000
YBSB-T	100	15	10000	87,0	
YBSB-T	70	13	6500	78,3	
YBSB-T	50	11	4000	65,6	
SDMH-T	150	20	13500	79,4	9000
SDMH-T	100	15	8800	76,5	
SDMH-T	70	13	6300	75,9	

\* Balast kayıpları dahildir.

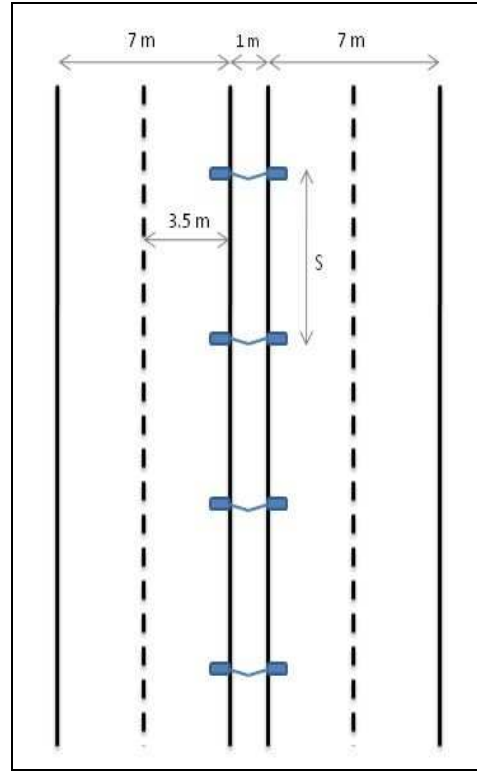
\*\* Toplam ışık akısı %30 değer kaybedinceye kadar geçen süredir.

AR1, AR2, AR3, AR4 ve AR5 olarak kodlandırılan armatürlerin içlerindeki lamba tip ve güçleri ile maliyet hesaplarında kullanılan lamba dahil fiyatları da Tablo 4'de gösterilmektedir. AR3 kodlu armatür direği ile birlikte imal edilen dekoratif bir tip olduğu için fiyatı direkt dahil olarak verilebilmektedir.

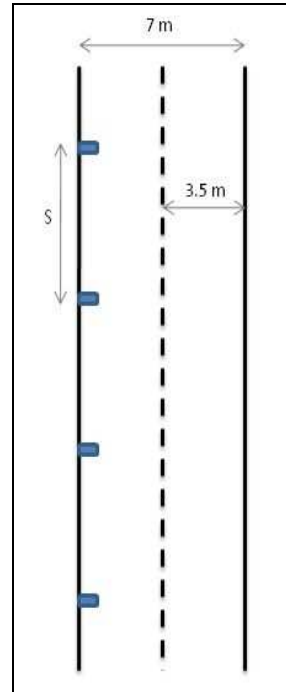
Kullanım amaçları ve gerçek uygulamalarda sıklıkla tercih edilen yol geometrileri düşünülerek, M3 aydınlatma sınıflı yol için hesaplar gidiş ve geliş iki şeritli olan yolda refüjden çift konsollu düzenek için yapılmıştır. Her bir şeridi 3,5 metre olan ve ortadan bir metre refüjlü yol geometrisi Şekil 2'de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 1. Hesaplarda kullanılan armatürlerin ışık dağılım eğrileri



Şekil 2. M3 aydınlatma sıfırlı yol geometrisi



Şekil 3. M4 ve M5 aydınlatma sıfırlı yol geometrisi

Tablo 4. Hesaplarda kullanılan armatürlerin lamba tip-güçleri ve fiyatları

Armatür kodu	Lamba tipi	Lamba gücü (W)	Armatür + Lamba fiyatı (TL)
AR1	LED	100	1328
AR2	LED	150	1527
AR3	LED	103,2	6750*
AR4	YBSB-T, SDMH-T	150	323; 360
AR5	YBSB-T, SDMH-T	100; 70; 50	311; 349

\*kullanılan armatür özel direğe sahip olduğundan armatür+direk fiyatıdır.

M4 ve M5 yol aydınlatma sınıfları için hesaplar ise, her biri 3,5 metre genişliğindeki iki şeritli bir yolda soldan tek taraflı tesisat için gerçekleştirilmiştir. Bu yol geometrisi de Şekil 3'de şematik olarak gösterilmektedir. M3 aydınlatma sınıfı yol için Tablo 2'de verilen ortalama  $1,0 \text{ cd/m}^2$  parıltı düzeyini ve diğer aydınlatma kalite büyüklüklerini en optimum şekilde

sağlayan aydınlatma tesisatlarının gerçekleştirilmesi amaçlanarak tasarım hesapları yapılmış ve Tablo 5'deki sonuçlar elde edilmiştir. Armatürler IP65 koruma sınıfı oldukları için, iki yıllık bakım sıklığı düşünülerek bakım-işletme faktörü 0,89 olarak alınmıştır. Hesaplarda yol sınıfı R3 olarak kabul edilmiştir.

Tablo 5. M3 aydınlatma sınıfı yol için tasarım sonuçları

Armatür kodu	Lamba tipi	s	h	k	$\theta$	$\Theta_{\text{arm}}$	E	L	$U_o$	$U_l$	TI	SR
AR2	150W- LED	35	13	1	5	5	17,65	1,0	0,50	0,51	1,6	0,63
AR5	100W- YBSB-T	39	11	1	0	0	14,03	1,03	0,58	0,77	9,8	0,62
AR4	150W- YBSB-T	66	15	1	5	5	13,43	1,03	0,44	0,53	9,8	0,67
AR4	150W- SDMH-T	58	14	1	5	0	13,28	1,01	0,41	0,58	9,6	0,59

s: direkler arası mesafe; h: montaj yüksekliği; k: konsol boyu;  $\theta$ : konsol açısı;  $\Theta_{\text{arm}}$ : armatür açısı; E: ortalama aydınlık düzeyi (lux); L: ortalama parıltı ( $\text{cd/m}^2$ );  $U_o$ : ortalama düzgünlük;  $U_l$ : boyuna düzgünlük; TI: bağlı eşik artışı; SR: çevreleme oranı.

M4 aydınlatma sınıfı yol için ortalama  $0,75 \text{ cd/m}^2$ ; M5 aydınlatma sınıfı yol için ise ortalama  $0,5 \text{ cd/m}^2$  parıltı düzeyi ve diğer aydınlatma kalite

büyüklükleri sağlanacak şekilde tasarım hesapları yapılmış ve Tablo 6 ve Tablo 7'deki sonuçlara ulaşılmıştır.

Tablo 6. M4 aydınlatma sınıfı yol için tasarım sonuçları

Armatür kodu	Lamba tipi	s	h	k	$\theta$	$\Theta_{\text{arm}}$	E	L	$U_o$	$U_l$	TI	SR
AR3	103.2W- LED	31	7	0	0	0	12,58	0,75	0,61	0,56	14,8	0,63
AR1	100W- LED	23	9	1	5	5	12,8	0,75	0,54	0,59	1,9	0,81
AR5	100W- YBSB-T	41	10	1	0	0	9,98	0,75	0,58	0,67	9,3	0,58
AR5	70W-YBSB-T	31	7	1,5	5	5	10,66	0,76	0,55	0,66	11,6	0,50
AR5	100W- SDMH-T	39	9	1	0	0	10,05	0,75	0,52	0,64	10,6	0,53
AR5	70W-SDMH-T	30	7	1,5	5	5	10,52	0,76	0,56	0,68	11,3	0,50

Tablo 7. M5 aydınlatma sınıfı yol için tasarım sonuçları

Armatür kodu	Lamba tipi	s	h	k	$\theta$	$\Theta_{\text{arm}}$	E	L	$U_o$	$U_l$	TI	SR
AR3	103.2W- LED	41	8	0	0	0	8,31	0,51	0,5	0,44	12,8	0,71
AR1	100W- LED	32	10	1	5	5	8,39	0,5	0,55	0,42	1,9	0,87
AR5	70W-YBSB-T	42	9	1	0	0	6,89	0,51	0,47	0,58	10,7	0,53
AR5	50W-YBSB-T	28	8	1,5	0	0	6,92	0,51	0,53	0,74	8,6	0,50
AR5	100W- SDMH-T	53	10	1	10	0	6,68	0,51	0,43	0,43	10,9	0,59
AR5	70W-SDMH-T	42	9	1	0	0	6,68	0,50	0,47	0,58	10,5	0,53

Şekil 1'deki armatür ışık dağılım eğrileri incelendiğinde, özellikle  $C_{90^\circ-270^\circ}$

düzlemindeki eğri şekillerinin oldukça farklı oldukları

gözlemlenmektedir. Tablo 5, 6 ve 7'deki tasarım sonuçlarından da AR1 ve AR2 kodlu LED'li armatürlerde görme bozukluğuna neden olan fizyolojik kamaşmayı tanımlayan bağıl eşik artışı (TI) değerinin çok iyi sınırlandırılabilirdiği anlaşılmaktadır. M4 ve M5 aydınlatma sınıfı yollarda 15'den düşük olması gereken TI değeri, dekoratif bir tasarım olan AR3 kodlu LED'li armatürlü tesisatta 14,8 gibi sınır değerlere ulaşmaktadır. Yine tablolarındaki tasarım sonuçlarından, sağlanan ortalama parıltı düzeyi değerleri aynı olmasına rağmen, LED'li armatürlü tesisatlarda yol üzerinde yaratılan ortalama aydınlık düzeylerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumda iyi tasarlanmış LED'li armatürler ile de kaliteli yol aydınlatması tesisatlarının yaratılabileceği söylenebilir.

#### 4. MALİYET ANALİZLERİ

Tablo 4'deki armatür ve lamba fiyatlarına direk, kablo ve işçilik maliyetleri de eklenerek M3, M4 ve M5 aydınlatma sınıfı yollarda gerekli aydınlatma kalite büyüklüklerini sağlayan tesisatların bir kilometrelik birim uzunluklarının kurulum maliyetleri hesaplanmıştır. Lamba ve balast güçleri dikkate alınarak armatürlerin şebekeden çektikleri toplam güçler belirlenip, direkler arası mesafeye bağlı olarak bir kilometrelik yol boyunca kullanılan armatür sayısı ile çarpılarak tesisatların kilometre başına kurulu güçleri (kW/km) de hesaplanmıştır. Bu değer, tesisatların belli kullanım sürelerindeki

elektrik enerjisi tüketimlerini ifade edebilmektedir. Yol aydınlatma tesisatlarının yılda 365 gün, günde 10 saat olarak yıllık 3600 saat kullanıldıkları kabul edilmiştir. Daha gerçek bir maliyet değerine ulaşmak için, yıllık faiz oranı %15, elektrik enerjisi birim fiyatı 0,21 TL/kWh alınarak, yine bir kilometrelik tesisat için 10 yıl kullanım süresi boyunca kurulum, işletme ve bakım maliyetlerinin toplam değeri de hesaplanmıştır. LED ışık kaynaklarının toplam ışık akılarının %30 değer kaybedinceye kadar geçen süre olarak verilen ekonomik ömürleri 50 000 saat olarak ifade edilmesine rağmen, güç artınca ortaya çıkan ısınma problemleri nedeni ile ömürlerinin azaldığı da bilinmektedir. Yapılan 10 yıllık maliyet hesaplamalarında, lamba değişim masrafları belirlenirken LED modüllerin ekonomik ömürleri en iyi koşul olarak 50 000 saat olarak alınmıştır. Günlük 10 saat, 365 gün kullanım kabulü ile 10 yıl için ulaşılan 36 000 saatlik kullanımda LED ışık kaynaklarının değiştirilmelerinin gerekmediği varsayılmıştır. M3, M4 ve M5 aydınlatma sınıfı yollar için tasarlanmış olan tesisatların bu kabullere göre, hesaplanan maliyetleri ve kilometre başına kurulu güçleri sırası ile Tablo 8, 9 ve 10'da gösterilmektedir.

Tablo 8. M3 aydınlatma sınıfı yol için maliyetler

Armatür kodu	Lamba tipi	Kurulum maliyeti (TL/km)	kW/km	10 yıllık maliyet (TL/km)
AR2	150W- LED	129926	8,40	689681
AR5	100W- YBSB-T	51384	5,75	343210
AR4	150W- YBSB-T	44275	5,10	282202
AR4	150W- SDMH-T	44467	5,78	346850

Tablo 9. M4 aydınlatma sınıfı yol için maliyetler

Armatür kodu	Lamba tipi	Kurulum maliyeti (TL/km)	kW/km	10 yıllık maliyet (TL/km)
AR3	103.2W- LED	237737	3,30	1040992
AR1	100W- LED	97062	4,30	484711
AR5	100W- YBSB-T	38887	2,76	218010
AR5	70W-YBSB-T	38574	2,66	227711
AR5	100W- SDMH-T	39325	2,88	251253
AR5	70W-SDMH-T	40518	2,74	273838

Tablo 10. M5 aydınlatma sınıfı yol için maliyetler

Armatür kodu	Lamba tipi	Kurulum maliyeti (TL/km)	kW/km	10 yıllık maliyet (TL/km)
AR3	103.2W- LED	182703	2,48	798544
AR1	100W- LED	76623	3,10	374133
AR5	70W-YBSB-T	36412	1,91	195537
AR5	50W-YBSB-T	41829	2,14	232346
AR5	100W- SDMH-T	34249	2,07	203637
AR5	70W-SDMH-T	37309	1,91	224278

Tablolardan tüm yol aydınlatma sınıflarında LED’li armatürlü tesisat maliyetlerinin, alternatif yüksek basınçlı sodyum buharlı (YBSB-T) ve metal halojen (SDMH-T) lambalı armatürlü tesisatlara göre yüksek olduğu görülmektedir. Direği ile birlikte imal edilen dekoratif bir çözüm olan AR3 kodlu LED’li armatür özel bir seçenek olduğu için maliyetleri de çok yüksek çıkmaktadır.

Tablo 3’de verilen lamba etkinlik faktörü değerlerinden, şu an için teknolojik olarak erişilebilen en yüksek güçlerden olan 100W ve 150W LED modüllerinin etkinlik faktörlerinin YBSB-T ve SDMH-T ışık kaynaklarına oranla düşük olduğu görülmektedir. Çekilen güce karşılık elde edilen ışık miktarını ifade eden etkinlik faktörünün düşük olması, LED’li tesisatların elektrik enerjisi tüketimlerinin, dolayısı ile işletme maliyetlerinin yüksek olacağını göstermektedir. Tablo 8, 9 ve 10’daki kilometre başına kurulu güç değerlerinin verildiği sütunlarda da, LED’li tesisat değerleri her durumda diğer alternatif tesisat değerlerinden daha yüksektir. Bu da yanlış bir yaklaşım ile LED’li tesisatların daha az enerji tükettikleri savını ortadan kaldırmaktadır. Çünkü güvenli sürüş koşulları için gerekli

yol aydınlatması kalite büyüklüklerinin sağlanması esas alındığında, kullanılacak LED modüllerinin de güçlerinin artırılması gerekmektedir.

Dekoratif çözüm olan AR3 kodlu armatür dikkate alınmayarak, Tablo 4’deki armatür fiyatları karşılaştırıldığında yol aydınlatması için gerekli kriterleri sağlayabilen kaliteli LED ışık kaynaklı armatür fiyatlarının diğer alternatiflere göre yaklaşık dört kat daha pahalı olduğu anlaşılmaktadır. Etkinlik faktörlerinin düşük olması aynı düzeylerde aydınlatmalar yaratılabilmesi için birim tesisat uzunluğu başına kullanılması gereken armatür sayısını artıracığından, armatür birim fiyatı da yüksek olduğu için LED’li yol aydınlatması tesisatlarının kurulum maliyetleri de yüksek olacaktır. Bu durum maliyet tablolarından da açıkça görülmektedir.

Sadece ilk kurulum maliyetlerine göre tesisat kararı vermek doğru olmayan bir yaklaşımdır. Uygun maliyet analizleri ile kurulum maliyetleri yüksek olsa da, işletme maliyetleri düşük olabilen tesisatların seçilebilmesi enerji verimliliği ve tesisat kalitelerinin sürekliliği açısından çok önemlidir. Çünkü bu tesisatların



elektrik enerjisi tüketimleri az olabildiği gibi, az sayıda dış koşullara dayanıklı kaliteli armatürlerle oluşturulan sistemlerde bakım maliyetleri de düşük olabilmektedir. Lambaların ekonomik ömürlerinin yüksek olması da, lamba değiştirme masraflarını azaltmaktadır. Bu durumda belli kullanım süreleri için tüm bu olasılıkların dikkate alınabildiği detaylı maliyet analizleri daha gerçekçi ve doğru seçimler yapılabilmesine yardımcı olabilecektir. Tablolardaki on yıllık maliyet sütunundaki değerlerden, LED’li tesisatların kullanım süreleri boyunca da toplam maliyetlerinin yine yüksek olacağı anlaşılmaktadır.

M3 aydınlatma sınıflı yolda en maliyet etkin çözüm 150W yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalı tesisattır. M4 aydınlatma sınıflı yolda, 70W ve 100W yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalı tesisatların maliyetleri birbirine çok yakın çıkmaktadır. Bu durumda, on yıllık maliyeti daha düşük olan 100W’lık tesisatın tercih edilmesi doğru olacaktır. M5 aydınlatma sınıflı yolda ise, kurulum masrafı açısından 100W metal halojen lambalı tesisat üstün iken, on yıllık kullanım süresince 70W yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalı tesisatın daha maliyet etkin olduğu görülmektedir. Değerler birbirine yakın olduğu için son karar ortamlarda istenilen ışık rengi özelliklerine göre verilmelidir.

## 5. SONUÇ

Yol aydınlatması tesisatlarında güvenli ve konforlu görüş koşullarının yaratılabilmesi için gerekli aydınlatma kalite büyüklüklerinin sağlanması en önemli koşuldur. Bu koşullar altında, günümüz LED teknolojileri ile üretilen yüksek güçlü ve kaliteli yol aydınlatması armatürleri kullanılarak ancak M3 ve üstündeki aydınlatma sınıfları için gerekli kriterlerin sağlanabildiği anlaşılmaktadır. Henüz M1 ve M2 aydınlatma sınıflı yollarda LED’li armatürler ile tesisatların gerçekleştirilmesi mümkün olamamaktadır.

Ekonomik açıdan en maliyet etkin çözümlerin uygulanması amaçlandığında, LED’li yol aydınlatması tesisatlarının tercihi zorlaşmaktadır. Bu çalışmada, gerçek veriler kullanılarak gerçekleştirilen maliyet analizlerinde LED’li yol aydınlatması tesisatlarının alternatifleri olan şeffaf yüksek basınçlı sodyum buharlı ve seramik deşarj tüplü metal halojen lambalara göre, kurulum maliyetinde yaklaşık %60; on yıllık kullanım süresince hesaplanan toplam maliyetlere göre de %55 oranında daha yüksek maliyetli oldukları belirlenmiştir. Uzun süreli toplam maliyet değerinin biraz düşük olmasındaki önemli etken, LED ekonomik ömürlerinin uzunluğudur. Etkinlik faktörlerinin düşük olması ve yeterli aydınlatma büyüklüklerinin sağlanabilmesi için güçlerin yükseltme gerekliliği tesisatların tükettikleri elektrik enerjisi miktarlarını da artırmaktadır.

LED’lerin yol aydınlatmalarında kullanılabilirliği, teknolojiye bağlı olarak doğru maliyet analizleri ile sürekli güncel tutulması gereken bir konudur.

## KAYNAKLAR

- [1] TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu, Enerji İstatistikleri, [www.tuik.gov.tr](http://www.tuik.gov.tr)
- [2] 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).
- [3] TEDAŞ, <http://www.tedas.gov.tr>
- [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.