

# YOL AYDINLATMASINDA LED’li ARMATÜRLERİN EKONOMİK ANALİZİ

Sermin ONAYGİL, Önder GÜLER, Emre ERKİN

İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Planlaması ve Yönetimi ABD  
Ayazağa Kampüsü, Maslak – İstanbul  
onaygil@itu.edu.tr, onder.guler@itu.edu.tr, erkinem@itu.edu.tr

## ÖZET

Bu çalışmada, iyi bilinen aydınlatma armatür üreticilerinden toplanan LED’li yol aydınlatması armatürleri fotometrik verileri kullanılarak M3 aydınlatma sınıflı yollar için aydınlatma tasarımları yapılmıştır. Bu tasarımlar konvansiyonel armatürler ile teknik açıdan karşılaştırılarak enerji verimli tesisatlar belirlenmiş ve yatırım, işletme ve bakım maliyetleri dikkate alınarak uzun dönem için maliyet analizleri yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda en iyi teknik sonuçların elde edildiği LED’li armatürlerin kullanılması durumunda, YBSB-T, SDMH-T lambalı armatürlere göre 13 yıllık kullanım süresindeki toplam maliyetlerin sırasıyla soldan tek taraflı düzenek için %78,78 ve % 46,79, refüjden çift konsollu düzenek için ise %109,7 ve %77,47 daha pahalı olduğu görülmüştür. LED’li armatürlerle maliyet-etkin yol aydınlatması tesisatları gerçekleştirilebilmesi için, mevcut duruma göre satın alma fiyatlarının düşmesi ve etkinlik faktörlerinin yükselmesi gerekmektedir.

## 1. GİRİŞ

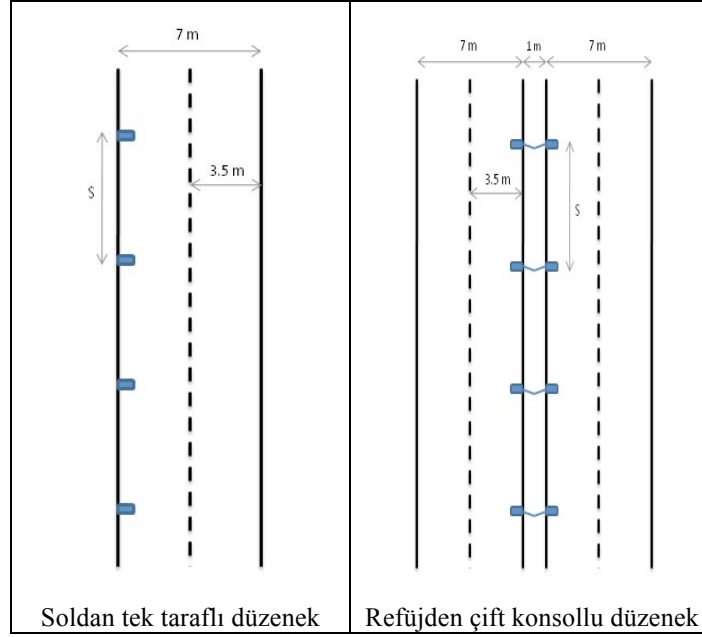
Son yıllarda LED’ler, sokak ve yol aydınlatmaları için iddia edildiği üzere uzun ömürleri ve yüksek verimleri ile konvansiyonel sistemlere bir alternatif olarak sunulmaktadırlar. Ancak bir ışık kaynağı olarak LED’lerin armatür halini alması sürecinde termal, optik ve elektriksel kayıplar, LED’lerin laboratuvar koşulları için verilen etkinlik faktörü değerlerini önemli ölçüde düşürmektedir. Bu sebeple, teknik olarak LED’li armatürler ancak ve ancak gerekli yol aydınlatma kriterlerini sağlayabilmeleri durumunda kullanılabilirler. Bunun yanında günümüzde söz konusu kriterleri sağlayabilen LED’li armatürlerin fiyatları da konvansiyonel armatürlere göre 6 kata kadar fazla olabilmektedir. Bu nedenle, konvansiyonel armatürler ile doğru karşılaştırmalarının yapılabilmesi için yol aydınlatmasında kullanılacak LED’li armatürlerin yatırım, işletme ve bakım maliyetlerini kapsayan detaylı analizlerinin yapılması oldukça önemlidir.

Bu çalışmada, iyi bilinen aydınlatma armatür üreticilerinden toplanan LED’li

yol aydınlatması armatürleri fotometrik verileri kullanılarak M3 aydınlatma sınıfı yollar için aydınlatma tasarımları yapılmıştır. Bu tasarımlar konvansiyonel armatürler ile teknik açıdan karşılaştırılarak enerji verimli sistemler belirlenmiş, yatırım, işletme ve bakım maliyetleri dikkate alınarak uzun dönem için maliyet analizleri yapılmış ve LED’li yol aydınlatması tesisatlarının hangi koşullarda konvansiyonel sistemlere alternatif olabileceği belirlenmeye çalışılmıştır.

## 2. YOL MODELLERİ ve TASARIM HESAPLARI

LED ve LED armatür teknolojisinde son yıllarda hızlı gelişmeler yaşansa da şu anda mevcut durum gözönüne alınarak, tasarım hesapları CIE 115-2010 no’lu dökümanda tanımlanan gerekli yol aydınlatma kalite kriterlerini sağlayacak şekilde M3 yol aydınlatma sınıfları için yapılmıştır [1]. Tasarım hesaplarında kullanılan yol modelleri Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. M3 yol aydınlatma sınıfı için hesaplarda kullanılan yol geometrileri

Hesaplar, M3 yol aydınlatma sınıfı uygulamalarında sıklıkla karşılaşılan, soldan tek taraflı ve refüjden çift konsollu düzenek için gerçekleştirilmiştir. Şekil 1’de verilen yol geometrilerinde kullanılmak üzere dünyanın değişik ülkelerindeki armatür üretici firmalarından LED’li yol aydınlatması armatürleri fotometrik verileri elde edilmiştir. Gerçekleştirilen tasarım hesaplarında, günümüz teknolojik koşulları ile ulaşılabilen ve kullanıma sunulan yüksek güçlü LED ışık kaynaklı 6 adet armatür ve karşılaştırma yapabilmek amacı ile de 1 adet

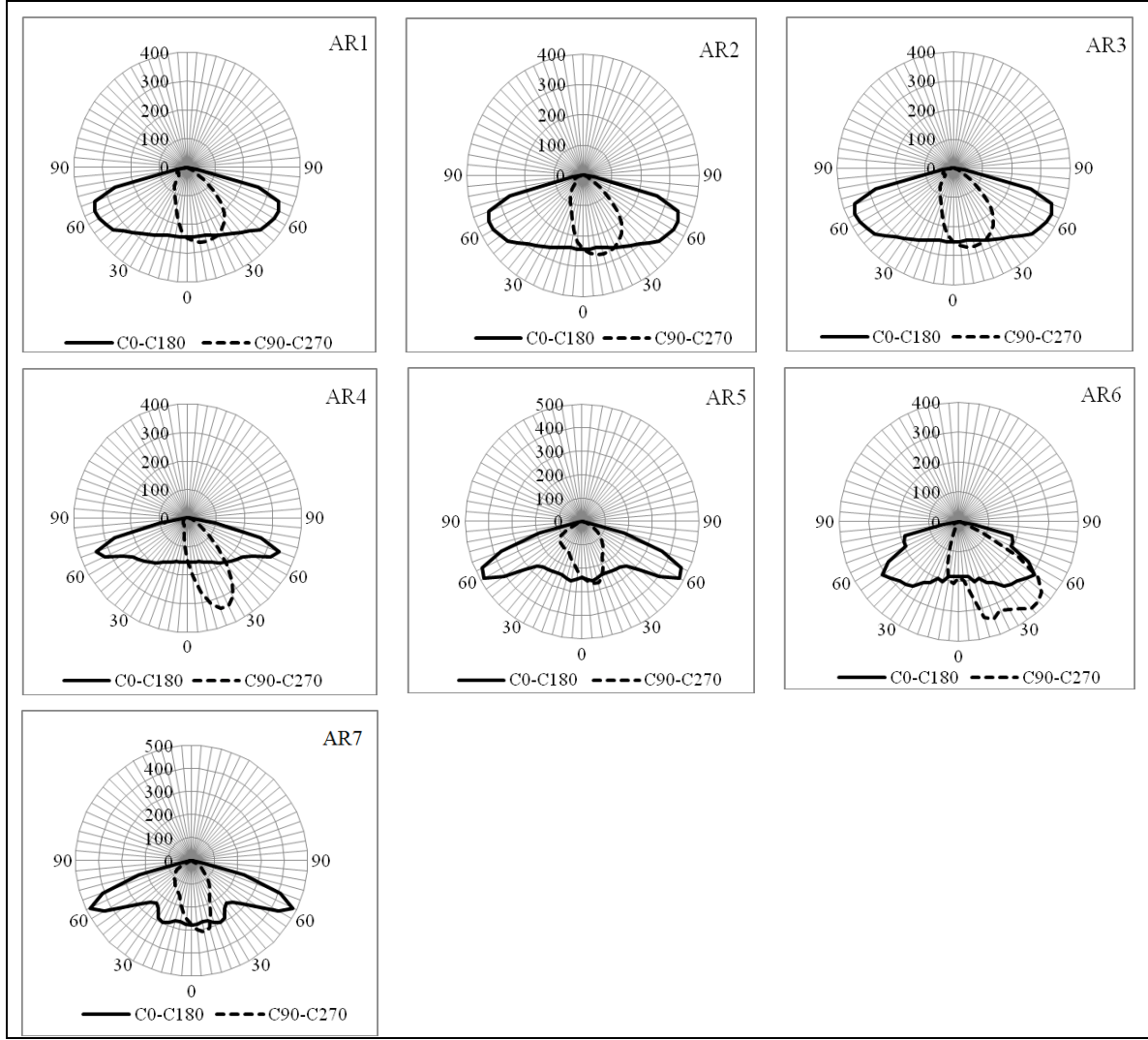
konvansiyonel lambalı armatür kullanılmıştır. M3 yol aydınlatma sınıfı yolda sağlanması gereken aydınlatma kalite kriterleri esas alınarak, LED ışık kaynaklı armatürlerle elde edilen sonuçlar, şeffaf tüplü yüksek basınçlı sodyum buharlı (YBSB-T) lambalı ve seramik deşarj tüplü metal halojen (SDMH-T) lambalı yol aydınlatması armatürleri ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma çalışmalarında veri olarak kullanılan LED, yüksek basınçlı sodyum

Tablo 1. Hesaplarda kullanılan armatürlerin teknik verileri

Armatür Kodu	Lamba Tipi	Armatür Gücü (W)	Işık Akısı (lm)	Etkinlik faktörü* (lm/W)	Ekonomik Ömür** (saat)
AR1	LED	151	11840	78,4	50000
AR2	LED	177	14208	80,3	
AR3	LED	118	10080	85,4	
AR4	LED	115	9014	78,4	
AR5	LED	115	8390	73,0	
AR6	LED	159	11500	72,3	
AR7a	HPS-T	170	14450	85,0	20000
AR7b	CDM-T	170	11475	67,5	9000

\* Tüm kayıplar (balast, sürücü, optik, ısı, vs.) dahil armatür etkinlik faktörüdür.

\*\* Toplam ışık akısı %30 değer kaybedinceye kadar geçen süredir (ışık kaynağı için).



Şekil 2. Hesaplarda kullanılan armatürlerin ışık dağılım eğrileri

buharlı ve metal halojen lambalı armatürlerin güçleri, ışık akıları, balast, sürücü, ısıl ve optik tüm kayıpları dahil etkinlik faktörleri ve ışık kaynaklarının ekonomik ömürleri Tablo 1’de, armatürlerin ışık dağılım eğrileri de Şekil 2’de verilmektedir. Şekilde ilk altı eğri (AR1,AR2, ...AR6) LED ışık kaynaklı armatürlere aittir. AR7 kodlu armatürde ise hem yüksek basınçlı sodyum buharlı hem de metal halojen lampa kullanılabilir.

Bilgisayar tasarım programına veriler girilerek, farklı yol geometrilerindeki M3 yol sınıfı için gerekli aydınlatma kalite büyüklükleri sağlanacak şekilde hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Buna göre, M3 yol aydınlatma sınıfı için yol yüzeylerinde sağlanması gereken ortalama parlaklık düzeyi değeri ( $L_{ort}$ )  $1,0 \text{ cd/m}^2$ ; ortalama düzgünlük

( $U_o$ ) 0,4; boyuna düzgünlük ( $U_l$ ) 0,6; çevreleme faktörü ( $R_s$ ) 0,5’den büyük ve kamaşma bağıl eşik artışı ( $f_{TI}$ ) da %15’den küçük olmalıdır. Armatürlerin koruma sınıfı IP65, yolun bulunduğu çevrenin kirlilik kategorisi orta düzeyde, temizlenme periyotları ise 2 yıl kabul edilerek CIE 154-2003 no’lu yayına göre bakım işletme faktörü 0.89 olarak belirlenmiştir [2]. Yol kaplamasının sınıfı ülkemizde tüm şartnamelerde geçerli olan R3 olarak seçilerek tasarım hesapları gerçekleştirilmiştir. Tasarım hesap sonuçları ile hesaplanan km başına kurulu güç (kW/km) ile enerji verimliliği göstergesi ( $S_L: W.(cd/m^2)^{-1}.m^{-2}$ ) [3] değerleri iki farklı geometrideki M3 yol aydınlatma sınıfları için sırasıyla Tablo 2 ve 3’te verilmektedir.

Tablo 2. M3 yol aydınlatma sınıfı soldan tek taraflı düzenek için tasarım hesapları

Armatür Kodu	s	h	k	$\theta$	$L_{ort}$	$U_o$	$U_l$	$f_{Tl}$	$R_s$	$E_{ort}$	kW/km	$S_L$
AR1	42	10	1	0	1,01	0,56	0,74	9,1	0,68	14,02	3,62	0,52
AR2	47	11	1	0	1,02	0,56	0,71	8,9	0,67	13,87	3,72	0,55
AR3	39	9	1	0	1,04	0,53	0,69	9,9	0,57	14,53	3,07	0,45
AR4	30	10	1	10	1,07	0,64	0,88	10	0,5	13,84	3,80	0,59
AR6	40	9	1	0	1,01	0,58	0,56	8,9	0,68	15,57	3,98	0,57
AR7a	50	12	1	0	1,04	0,4	0,56	9,1	0,62	13,73	3,40	0,51
AR7b	42	11	1	0	1,03	0,41	0,65	8,9	0,59	13,76	4,08	0,60

s: direkler arası mesafe; h montaj yüksekliği; k konsol boyu;  $\theta$ :konsol açısı;  $L_{ort}$ :ort. parıltı ( $cd/m^2$ );  $U_o$ :ort. düzgünlük;  $U_l$ :boyuna düzgünlük;  $Tl$ :bağlı eşik artışı;  $R_s$ :çevreleme oranı;  $E_{ort}$ :ort. aydınlık düzeyi (lux);  $S_L$ :enerji verimliliği göstergesi ( $W.(cd/m^2)^{-1}.m^2$ )

Tablo 3. M3 yol aydınlatma sınıfı refüjden çift konsollu düzenek için tasarım hesapları

Armatür Kodu	s	h	k	$\theta$	L	$U_o$	$U_l$	$f_{Tl}$	$R_s$	$E_{ort}$	kW/km	$S_L$
AR1	51	11	1	0	1,03	0,46	0,65	10	0,67	14,55	6,04	0,41
AR2	58	12	1	0	1,04	0,46	0,6	10	0,71	14,52	6,02	0,42
AR3	46	11	1	0	1,01	0,5	0,78	9,6	0,67	14,26	5,19	0,36
AR5	39	11	1	0	1,01	0,42	0,64	10	0,58	13,84	5,98	0,42
AR6	46	10	1	0	1	0,53	0,55	8,1	0,86	15,25	7,00	0,49
AR7a	66	15	1	5	1,03	0,44	0,53	9,8	0,67	13,43	5,10	0,36
AR7b	58	14	1	5	1,01	0,41	0,58	9,6	0,59	13,28	5,78	0,41

Her iki yol düzeneğinde M3 aydınlatma sınıfı kriterlerinin sağlandığı durumlar için elde edilen ve Tablo 2 ile 3'te verilen tasarım sonuçları incelendiğinde, km başına kurulu güç değerlerinin en düşük olduğu durumun her iki yol tipi için AR3 kodlu LED'li armatürler ile elde edildiği görülmektedir. Enerji verimliliği göstergesi olarak kabul

edilen  $S_L$  de her iki yol düzeneği için yine AR3 kodlu armatür kullanıldığında, en düşük değer olarak belirlenmiştir. km başına kurulu güçler ile enerji verimliliği gösterge değerlerinde en uygun sonuçlar LED armatür grubu içerisinde AR3 kodlu armatür ile elde edilebildiği için, maliyet analizleri sadece bu armatür tipi için yapılmıştır.

#### 4. MALİYET ANALİZLERİ

Bu çalışmada elde edilen tasarım sonuçlarından da görüldüğü gibi, hızlı gelişen teknolojisi nedeni ile LED’li yol aydınlatma armatürlerinin artık teknik açıdan, M3 aydınlatma sınıflı yollar için konvansiyonel sistemlerle karşılaştırılabilir boyuta geldikleri anlaşılmaktadır. M2 ve M1 yol aydınlatma sınıflarında da gerekli kriterler sağlanabilmesine rağmen, bu çözümlerin halen kullanılmakta olan yüksek basınçlı soyum buharlı lambalı tesisatlara göre henüz daha kolay karşılaştırılabilir özelliklerde olmadığı da bilinmektedir [4]. Diğer yandan satın alma fiyatları konvansiyonel armatürlere göre çok daha pahalı olan LED’li armatürlerin teknik açıdan yeterli olsalar dahi, tesisatlarda kullanımlarında zorluklar yaşanmaktadır. Ama bir yandan da, hızla artan etkinlik faktörleri ve 50000 saat’lerden fazla olduğu kabul edilen ekonomik ömürleri vurgulanarak, işletme ve bakım masrafları yönünden üstün oldukları da ifade edilmektedir. Şu an yaygın kullanılan konvansiyonel armatürler ile maliyet açısından doğru bir karşılaştırma yapılabilmesi için tüm maliyetleri ve uzun yılları kapsayan bir analiz yapılması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında kullanılan maliyet analizi hesapları ile elde edilen kilometre başına toplam maliyet (TM); yatırım maliyeti (YM), işletme maliyeti (İM) ve bakım maliyetlerinin (BM) toplamından oluşmaktadır [5, 6].

$$TM = YM + İM + BM \quad (1)$$

$$YM = ds.(df+dmf) + n.(af+amf) + ls.(lf+lmf) + lku.(lkf+lkmf) + sku.(skf+skmf) \quad (2)$$

ds	direk sayısı
df	direk fiyatı (TL)
dmf	direk montaj fiyatı (TL)
n	armatür sayısı
af	armatür fiyatı(TL)
amf	armatür montaj fiyatı (TL)
ls	lamba sayısı
lf	lamba fiyatı (TL)
lmf	lamba montaj fiyatı (TL)
lku	linye uzunluğu (m)

lkf	linye kablosu fiyatı (TL)
lkmf	linye montaj fiyatı (TL/m)
sku	sorti uzunluğu (m)
skf	sorti kablo fiyatı (TL/m)
skmf	sorti montaj fiyatı (TL/m)

$$İM = n.P_i.ef.10^{-3}.365.t_i \quad (3)$$

P <sub>i</sub>	armatür gücü (W)
ef	elektrik birim fiyatı (TL/kWh)
t <sub>i</sub>	günlük kullanım süresi (saat)
BM = ls.(lf+lmf) + [ (ps.pf+yf).n / bas.t <sub>ç</sub> ]	(4)
ps	personel sayısı
pf	personel günlük yövmiyesi (TL/kişi)
yf	günlük kullanılan yakıt fiyatı (TL/gün)
bas	saatte bakımı yapılan armatür sayısı
t <sub>ç</sub>	günlük çalışma saati (h)

LED’li yol aydınlatma armatürlerinin ömürlerinin LED ışık kaynakları ile bağlantılı olup olmadığı üzerinde tartışılan bir konudur. LED ışık kaynakları armatürden kolay ayrılamayan tasarımda olabildiği gibi, kolay takılıp çıkarılabilen modüller şeklinde de olabilmektedir. Ancak LED modüllerin maliyetinin yüksek olması, teknolojinin hızla gelişmesi gibi parametreler modüler yapının önündeki engellerdir. Sıklıkla yapılan uygulamalarda armatür ömrü, LED ışık kaynağı ömrü ile aynı kabul edilmektedir. Bu çalışmada gerçekleştirilen maliyet hesaplarında da LED’lerin ekonomik ömrü 50000 saat ve günlük kullanım süresi de ortalama 10 saat kabul edilerek hesap periyodu 13 yıl olarak alınmış, böylelikle LED ışık kaynaklarının değişim maliyetleri elimine edilmiştir. Direk, direk montaj, armatür montaj, kablo, kablolama fiyatları gibi tesisat maliyetleri güncel fiyatlar dikkate alınarak belirlenmiştir. Satın alma fiyatları konvansiyonel armatürler için 500 TL, YBSB lambalar için 20 TL, SDMH lambalar için ise 65 TL olarak kabul edilmiştir. Maliyet analizlerinde önemli bir etken olan LED’li armatür fiyatları ise, 500 TL ila 3000 TL arasında değişen bir parametre olarak

alınmıştır. LED teknolojisinde yaşanan hızlı gelişim düşünülerek, yakın gelecekte olası armatür etkinlik faktörleri artışlarını da dikkate alabilmek amacıyla, AR3 armatürünün mevcut etkinlik faktörü ile birlikte, 90, 100, 110 ve 120 lm/W değerleri için de tasarım ve maliyet hesapları tekrarlanmıştır. Tablo 4 ve 5'te, her iki yol geometrisi için farklı armatür etkinlik faktörlerine göre yapılan tasarım hesapları sonuçları verilmektedir. Maliyet hesaplarında paranın zamansal değerini değerlen-

direbilmek için, yıllık faiz oranı %10 enflasyon oranı ise %8 alınmıştır. Buna göre, armatür etkinlik faktörü ve armatür fiyatı değişken olmak üzere, yine M3 yol aydınlatma sınıflı farklı geometrilerdeki yollar için 13 yıllık kullanım süresince hesaplanan toplam maliyetler ise, Tablo 6 ve Tablo 7'de verilmektedir. Şekil 3 ve 4'te tablolardaki değerler, daha kolay anlaşılabilirliği amacıyla grafiksel olarak da gösterilmiştir.

Tablo 4. AR3 armatürünün farklı etkinlik faktörleri ile soldan tek taraflı düzenek için tasarım hesapları

Armatür Etkinlik F. (lm/W)	Gücü (W)	Işık Akısı (lm)	s	h	k	$\theta$	L <sub>ort</sub>	U <sub>o</sub>	U <sub>1</sub>	f <sub>T1</sub>	R <sub>s</sub>	E <sub>ort</sub>	kW/km	S <sub>L</sub>
85,4 (Recent)	118	10080	39	9	1	0	1,04	0,53	0,69	9,9	0,57	14,53	3,07	0,42
90	118	10620	40	10	1,5	0	1,00	0,62	0,75	8,8	0,61	13,65	2,95	0,42
100	118	11800	44	10	1,5	0	1,01	0,57	0,69	9,7	0,61	13,80	2,71	0,38
110	118	12980	45	11	1	0	1,00	0,58	0,74	8,5	0,66	13,73	2,60	0,37
120	118	14160	50	11	1,5	0	1,00	0,56	0,61	9,4	0,65	13,42	2,36	0,34

Tablo 5. AR3 armatürünün farklı etkinlik faktörleri ile refüjden çift konsollu düz. için tasarım hesapları

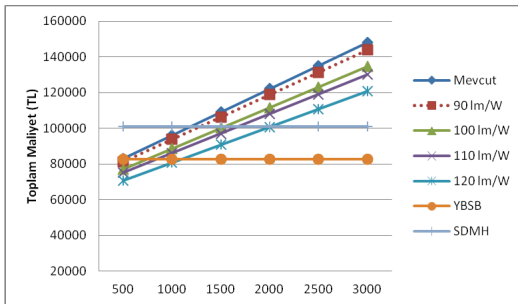
Armatür Etkinlik F. (lm/W)	Gücü (W)	Işık Akısı (lm)	s	h	k	$\theta$	L <sub>ort</sub>	U <sub>o</sub>	U <sub>1</sub>	f <sub>T1</sub>	R <sub>s</sub>	E <sub>ort</sub>	kW/km	S <sub>L</sub>
85,4 (Recent)	118	10080	46	11	1	0	1,01	0,5	0,78	9,6	0,67	14,26	5,19	0,36
90	118	10620	49	11	1	0	1,00	0,48	0,72	10,0	0,67	14,11	4,72	0,34
100	118	11800	51	12	1	0	1,01	0,48	0,75	9,3	0,71	14,22	4,72	0,33
110	118	12980	56	12	1	0	1,01	0,47	0,66	10,0	0,71	14,18	4,25	0,30
120	118	14160	60	13	1	0	1,00	0,47	0,67	9,4	0,74	13,76	4,01	0,28

Tablo 6. Soldan tek taraflı düzenek için maliyetler

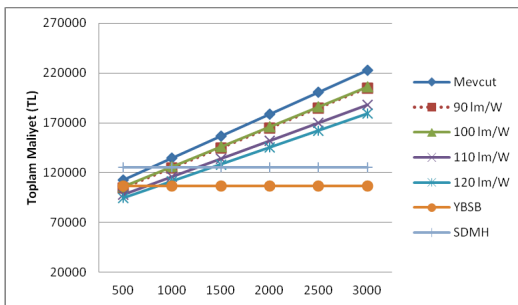
LED Armatür etk. fak. (lm/W)	LED Armatür Fiyatı (TL)					
	500	1000	1500	2000	2500	3000
	Toplam Maliyet (TL)					
85,4	83139	96139	109139	122139	135139	148139
90	81316	93816	106316	118816	131316	143816
100	77111	88611	100111	111611	123111	134611
110	75078	86078	97078	108078	119078	130078
120	70753	80753	90753	100753	110753	120753
Konv. Armatür	Toplam Maliyet (TL)					
YBSB-T	82862					
SDMH-T	100922					

Tablo 7. Refüjden çift kon. düz. için maliyetler

LED Armatür etk. fak. (lm/W)	LED Armatür Fiyatı (TL)					
	500	1000	1500	2000	2500	3000
	Toplam Maliyet (TL)					
85,4	112866	134866	156866	178866	200866	222866
90	104706	124706	144706	164706	184706	204706
100	105706	125706	145706	165706	185706	205706
110	98015	116015	134015	152015	170015	188015
120	94270	111270	128270	145270	162270	179270
Konv. Armatür	Toplam Maliyet (TL)					
YBSB-T	106293					
SDMH-T	125582					



Şekil 3. Soldan tek taraflı düzenek için maliyetler



Şekil 4. Refüjden çift kon. düz. için maliyetler

Tablolardan da görüldüğü gibi, LED' li armatürlerin fiyatı ve etkinlik faktörü değerleri toplam maliyeti etkileyen önemli parametrelerdir. Soldan tek taraflı aydınlatma düzeneği için verilen Tablo 6 incelendiğinde şu andaki mevcut en yüksek değer olan 85,4 lm/W etkinlik faktörü ile LED'li armatür fiyatının YBSB-T'li armatür fiyatına eşit olması durumunda bile, YBSB-T lambalı armatürün kullanımı daha ekonomik olmaktadır. Etkinlik faktörü değeri 90lm/W'ın üzerine çıktığında ise, armatür fiyatları eşit olduğunda (500 TL) LED'li armatür YBSB-T lambalı tesisata göre daha maliyet-etkin olabilmektedir. Aynı yol geometrisi için LED'li armatürlerin YBSB-T lambalı armatürlere göre ekonomik olduğu bir başka durum ise armatür fiyatının 1000 TL ve etkinlik faktörünün 120 lm/W olduğu durumdur. 6 farklı armatür satınalma fiyatı ile 5 farklı etkinlik faktörü göz önüne alınarak 30 farklı durum için yapılan maliyet analizi sonuçlarına göre, sadece 5 durumda LED'li armatürlü yol aydınlatması tesisatlarının YBSB-T lambalı armatürlere göre daha ekonomik olabildiği görülmüş, geriye kalan 25 durumda YBSB-T lambalı armatürlerin kullanılmasının daha uygun olabileceği ortaya çıkmıştır. Aynı karşılaştırma SDMH-T tipi lambalı armatürlerin kullanılması durumu için yapıldığında ise, 14 durumda LED'li armatür kullanımı, 16 durumda ise SDMH-T lambalı armatürlerin kullanımı daha ekonomik olmaktadır. Armatür etkinlik faktörü değeri 100 lm/W'ın üzerinde olduğunda, birim satış fiyatı 1500 TL'na kadar olan LED'li armatürler ile, SDMH-T lambalı yol aydınlatması tesisatlarına göre daha maliyet-etkin çözümler sağlanabilecektir.

Analizler refüjden çift konsollu aydınlatma düzeneği için tekrarlandığında, sonuçlar bir önceki analize göre daha da kötüleşmektedir. Bu düzenek için oluşturulan 30 farklı olasılıkta,

LED'li armatür kullanımı YBSB-T lambalı armatüre göre sadece 4 durumda, SDMH-T lambalı armatüre göre ise 7 durumda daha ekonomik olmaktadır.

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada 6 LED'li ve bir konvansiyonel ışık kaynaklı armatür kullanılarak, soldan tek taraflı ve refüjden çift konsollu aydınlatma düzenekleri için M3 aydınlatma sınıfı kriterlerini sağlayan tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Soldan tek taraflı aydınlatma düzenğinde kW/km ve  $S_L$  değerleri göz önüne alındığında, AR3 kodlu LED'li armatür ile YBSB-T lambalı armatürlere göre daha iyi sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir. Refüjden çift konsollu düzenek ile yapılan tasarım hesaplarında da yine en iyi sonuç AR3 kodlu armatür ile elde edilmiş, ancak bu düzenekte kW/km değerleri YBSB-T lambalı armatüre göre daha yüksek,  $S_L$  değerleri ise her iki armatür için aynı olarak bulunmuştur.

Günümüzde konvansiyonel armatürlerin yerine kullanılacak LED'li armatür fiyatlarının 3000 TL civarında olması tesisatın toplam maliyetini artırmakta ve kullanımını zorlaştırmaktadır. En iyi teknik sonuçların elde edildiği AR3 kodlu LED'li armatürlerin kullanılması durumunda bile mevcut satınalma fiyatları ve etkinlik faktörleri göz önüne alındığında, YBSB-T ve SDMH-T lambalı armatürlere göre 13 yıllık kullanım süresindeki toplam maliyetler sırasıyla soldan tek taraflı düzenek için %78,78 ve % 46,79, refüjden çift konsollu düzenek için ise %109,70 ve % 77,47 daha pahalı olmaktadır.

Teknik açıdan gerekli aydınlatma kalite kriterlerinin sağlanabildiği M3 aydınlatma sınıfı yollarda bile LED'li armatürlerle maliyet-etkin tesisatlar gerçekleştirilebilmesi için, satınalma fiyatlarının bugünkü koşullara göre azalması ve etkinlik faktörlerinin de yükselmesi gerekmektedir. Tüm karşılaştırma çalışmalarının, tesisatlarda güvenlik ve konfor açısından gerekli koşulların sağlanması için gerekli olan ve standart ve yönetmeliklerde verilen

aydınlatma kalite kriterlerinin elde edilmesi koşulu ile yapılması gerektiği akıldan çıkarılmamalıdır. Bu nedenle yol aydınlatması gibi güvenlik koşullarının kritik olduğu uygulamalarda kullanılacak armatürlerin detaylı fotometrik verilerine ihtiyaç vardır.

## KAYNAKLAR

[1] CIE 115:2010 Recommendations for the Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic, Vienna.

[2] CIE 154:2003 The Maintenance of Outdoor Lighting System, Vienna.

[3] SCHWARCZ P., Energy Efficiency Indicators in Street Lighting Applications, 27<sup>th</sup> Session of CIE, 10-15 July, 2011, South Africa.

[4] ONAYGİL S., GÜLER Ö., ERKİN E., Yol Aydınlatması Tesisatlarında LED'li Armatür Kullanımının Teknik ve Ekonomik Açıdan İncelenmesi, 8. Ulusal Aydınlatma Kongresi, 14-15 Nisan 2011, İstanbul.

[5] ONAYGİL S., OZKIZILKAYA O., Energy Cost Analysis in Road Lighting, The Fourth Conference BalkanLight 2008, 7-10 October 2008, Ljubljana, Slovenia.

[6] OZKIZILKAYA O., ONAYGİL S., Effects of parameters in road lighting cost calculation formulas, LUX Europa 2009, 9-11 September 2009, Istanbul, Turkey.