

LED'Lİ YOL AYDINLATMASI VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Prof. Dr. Sermin ONAYGİL

23 Mayıs 2013



5. ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE KALİTESİ SEMPOZYUMU

EVK'2013

23 - 24 MAYIS 2013

İstanbul Teknik Üniversitesi

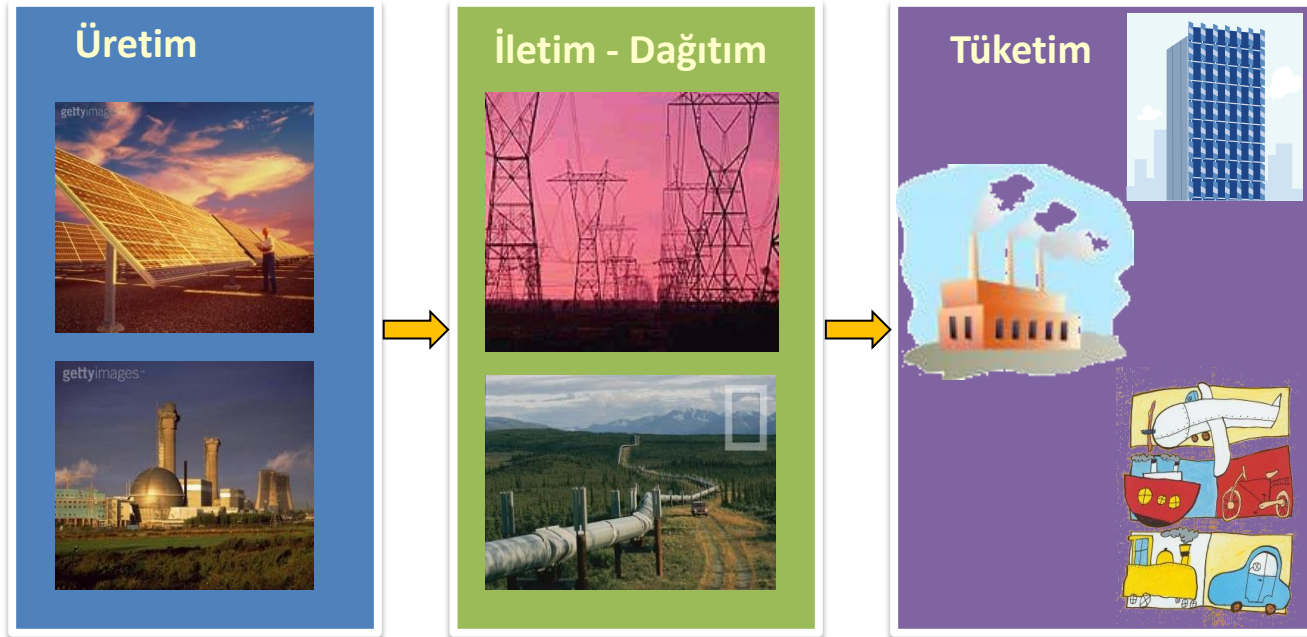
Enerji Enstitüsü

Enerji Planlaması ve Yönetimi A.B.D.

- Enerji Verimliliği çalışmaları içinde “yol aydınlatmaları”nın yeri
- LED teknolojisi & LED armatür tasarım süreci – Sorunlar / Eksiklikler
- Yol aydınlatması şartnameleri, LED’li yol aydınlatması – RAPOR
- LED’li yol aydınlatmaları ile sağlanabilecek enerji tasarruf oranları
- Dünya’dan LED’li yol aydınlatması uygulamaları
- Türkiye’deki demo retrofit uygulama projeleri

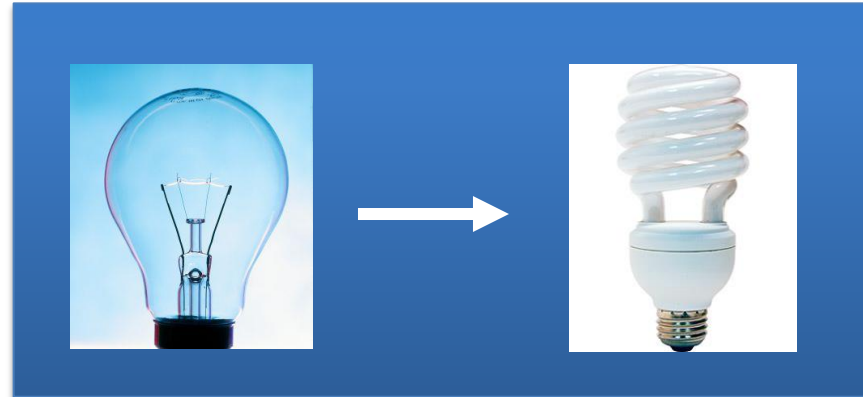


- Enerji kaynaklarının üretimden tüketime kadar tüm aşamalarda en yüksek etkinlikte değerlendirilmesi,
- Yeni teknolojilerin kullanımı ile üretimi, kaliteyi ve performansı düşürmeden, sosyal refahı engellemeden enerji tüketiminin azaltılmasıdır.



- Enerji tasarrufu enerji ve enerji kaynaklarının verimli olarak değerlendirilmesi amacıyla, kullanıcılar tarafından alınan önlemler sonucunda harcanan enerji miktarında sağlanan azalmadır.
- Enerji verimliliği ise yeni teknoloji kullanma yoluyla üretimi, kaliteyi ve performansı düşürmeden, sosyal refahı engellemeden enerji tasarrufu sağlanmasıdır.

İki lambadan birini söndürmek **tasarruf**, aynı aydınlatmayı sağlayan, daha az enerji tüketen teknolojik lambaların kullanılması **verimlilik** !



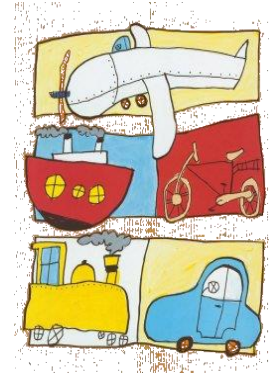
Tüketim Sektörü Tasarruf Potansiyellerimiz



%20



%30



%15

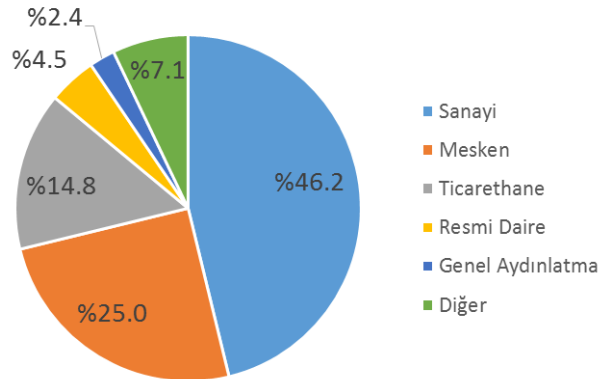
2020 yılında 222 milyon TEP olması beklenen enerji tüketimi en az %15 azaltılabilir.

www.yegm.gov.tr

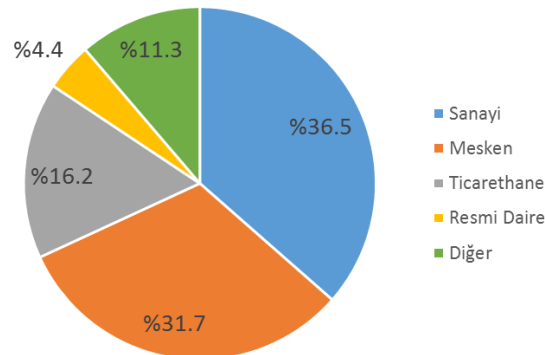
Türkiye Elektrik Tüketiminin Sektörel Dağılımı

	2009	2010	2011	
Arz Edilen	185.9	225.2	185.0	Milyar kWh
Kayıp Kaçak	29.0	21.0	22.3	Milyar kWh
TEDAŞ Net Tüketim	156.9	91.6	92.5	Milyar kWh
Özel Dağıtım Net Tüketim	-	112.6	70.2	Milyar kWh
TEDAŞ Abone Sayısı	24 Milyon	17 Milyon	16.1 Milyon	

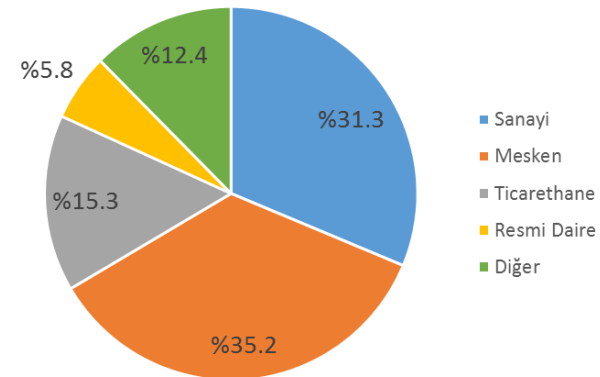
Tedaş Net Tüketim – Sektörel Dağılımı



2009

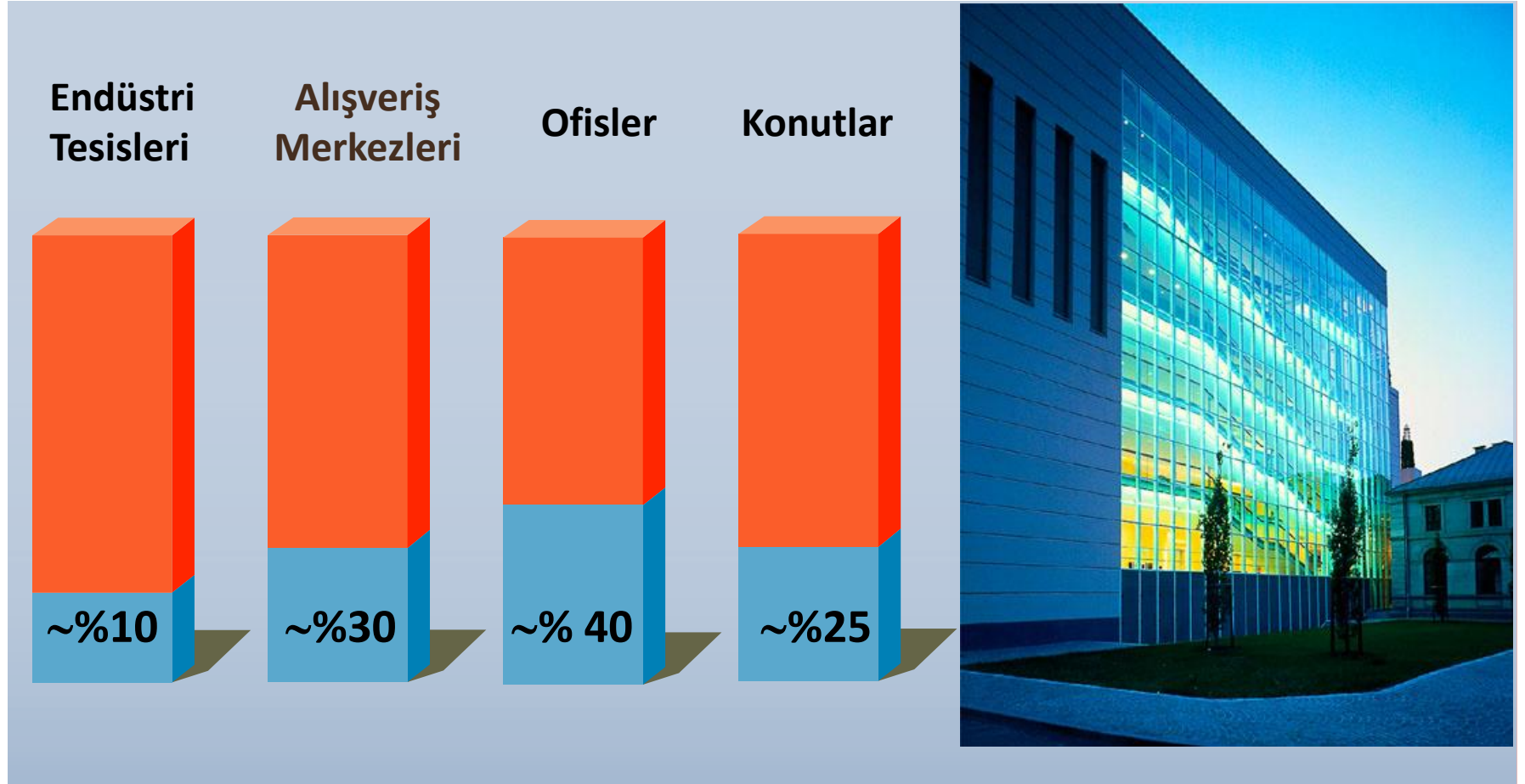


2010



2011

Toplam elektrik enerjisi tüketimi içinde aydınlatmanın payı : ~ % 20

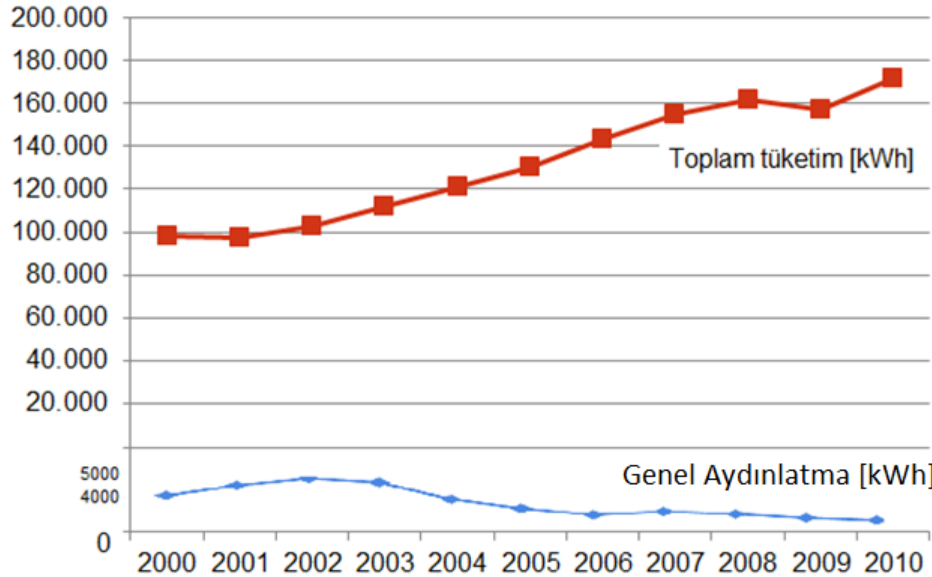


Genel Aydınlatmada Kullanılan Elektrik Enerjisi Miktarı

Yıl	Aydınlatma (GWh)	Aydınlatma %	Toplam Tüketim (GWh)
2000	4 557,7	4,64	98 295,7
2001	4 888,2	5,04	97 070,0
2002	5 103,9	4,96	102 947,9
2003	4 974,8	4,45	111 766,1
2004	4 432,5	3,66	121 141,9
2005	4 143,0	3,18	130 262,8
2006	3 950,4	2,76	143 070,3
2007	4 052,6	2,61	155 135,3
2008	3 970,2	2,45	161 974,5
2009	3 844,8	2,45	156 894,1
2010	3 768,3	2,20	172 050,6
2011	3 986,1	2,10	186 099,6

Kaynak: Salim Kılavuz, TEDAŞ Gn. Md. Malzeme Yönetimi ve Satın alma Daire Başkanı, 9.Ulusal Aydınlatma Kongresi, Nisan 2013

Genel Aydınlatmada Kullanılan Elektrik Enerjisi Miktarı



- Genel aydınlatma tüketimi, hem civa buharlı lamba kullanımının terkedilmesi, hem de sanayi kullanımının artması sebebiyle hem reel, hem de oransal olarak azalmıştır.
- Toplam elektrik enerjisi tüketimimizde yaklaşık %2 olarak gösterilen “genel aydınlatma” payı içinde, yol ve sokak aydınlatmaları ağırlıklı olarak yer almaktadır.

- Hazine Müsteşarlığı tarafından Elektrik Dağıtım Şirketlerine sadece 2012 yılı için 3.093.071.203 kWh enerji bedeli olarak **923.930.451,-** TL ödenmiştir.

Kaynak: Salim Kılavuz, TEDAŞ Gn. Md. Malzeme Yönetimi ve Satın alma Daire Başkanı, 9.Ulusal Aydınlatma Kongresi, Nisan 2013

Armatür - Lamba Yıllık Artış Oranı

Yıl	Armatür ve lamba sayısı (Adet)	Önceki yıla göre artış (Adet)	Yıllık Artış (%)
2005	5 131 662	351 534	6,9
2006	5 284 204	152 542	2,9
2007	5 458 843	174 639	3,2
2008	5 615 634	156 791	2,8
2009	5 755 607	139 973	2,4
2010	5 938 080	182 473	3,2
2011	6 014 213	76 133	1,3

Kaynak: Salim Kılavuz, TEDAŞ Gn. Md. Malzeme Yönetimi ve Satın alma Daire Başkanı, 9.Ulusal Aydınlatma Kongresi, Nisan 2013

- Tüm dünyada olduğu gibi, ülkemizde de özellikle 2007 yılından beri yoğun bir şekilde sürdürülmekte olan “enerji verimliliği” çalışmalarında, temininde büyük güçlükler yaşanan elektrik enerjisini tüketen sistemlerden biri olan “aydınlatma tesisatları” mevcut tesisatların yetersizliği, teknolojideki yenilikler ve kısa geri ödeme süreleri nedeniyle üzerinde en çok konuşulan ve uygulama yapılan konulardan biri haline gelmiştir.
- Enerji verimliliği kapsamında yoğun olarak yürütülen çalışmalar arasında, kolay uygulanabilir ve izlenebilir olduğu için yol ve sokak aydınlatmalarında yeni teknoloji LED’li armatürlerin kullanılması konusu sürekli gündemdedir.
- Bu uygulamalar, büyük enerji tasarruflarının sağlanabileceği iddia edilerek, hükümetlerin enerji verimliliği stratejileri içinde de yer almaktadır.



Türkiye'deki Sokak Lambalarının Tümünü Değiştiriyoruz



T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanı Sayın Taner Yıldız:

"Armatürlerle ilgili konuştuk. Firmalarla görüştük. Sokak aydınlatmasının finansmanı ile ilgili ayrı bir çalışma yapacağız. Tasarruf sağlayacağız. LED'ler ile 100 birim elektrik yerine belki 25 birime düşecek ... (5 Haziran 2012)"

- "Bu işin maliyeti yaklaşık en az 3-4 milyar. Finansmanını ve projelendirmesini kamuya yük olmadan yapacağız. 17 milyon adet sokak lambası var (5 Haziran 2012) "*
- "Çok güzel bir model hazırlıyoruz. Hiçbir şekilde kamudan 1 lira almayı düşünmüyoruz. Davet usulü ihale yapacağız. En önemlisi yerli üretim zorunluluğu koyacağız (5 Haziran 2012)"*
- Türkiye'de 6-7 milyon civarındaki sokak lambasının LED teknolojisine dönüştürülmesi için çalışmaların olduğunu bildiren Yıldız, uygulama için iki pilot bölge seçtiklerini bunlardan birinin de Ankara'da İnönü Bulvarı olduğunu açıkladı (9 Kasım 2012)

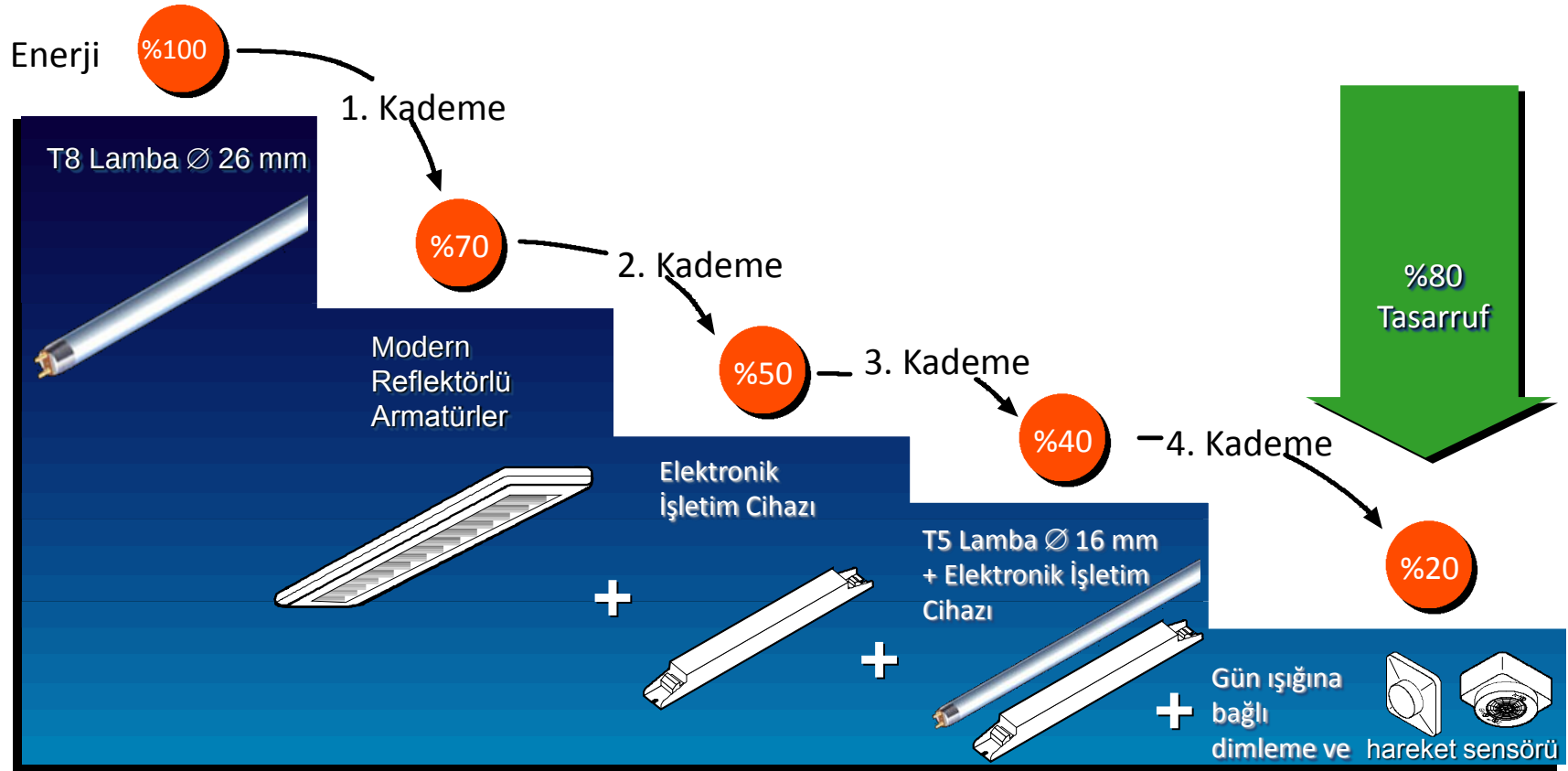
Aydınlatmada tasarruf, lamba söndürerek değil, görme yeteneği ve görsel konfordan ödün vermeden, gerekli minimum seviyede aydınlık düzeylerinin yaratılması ile sağlanır.

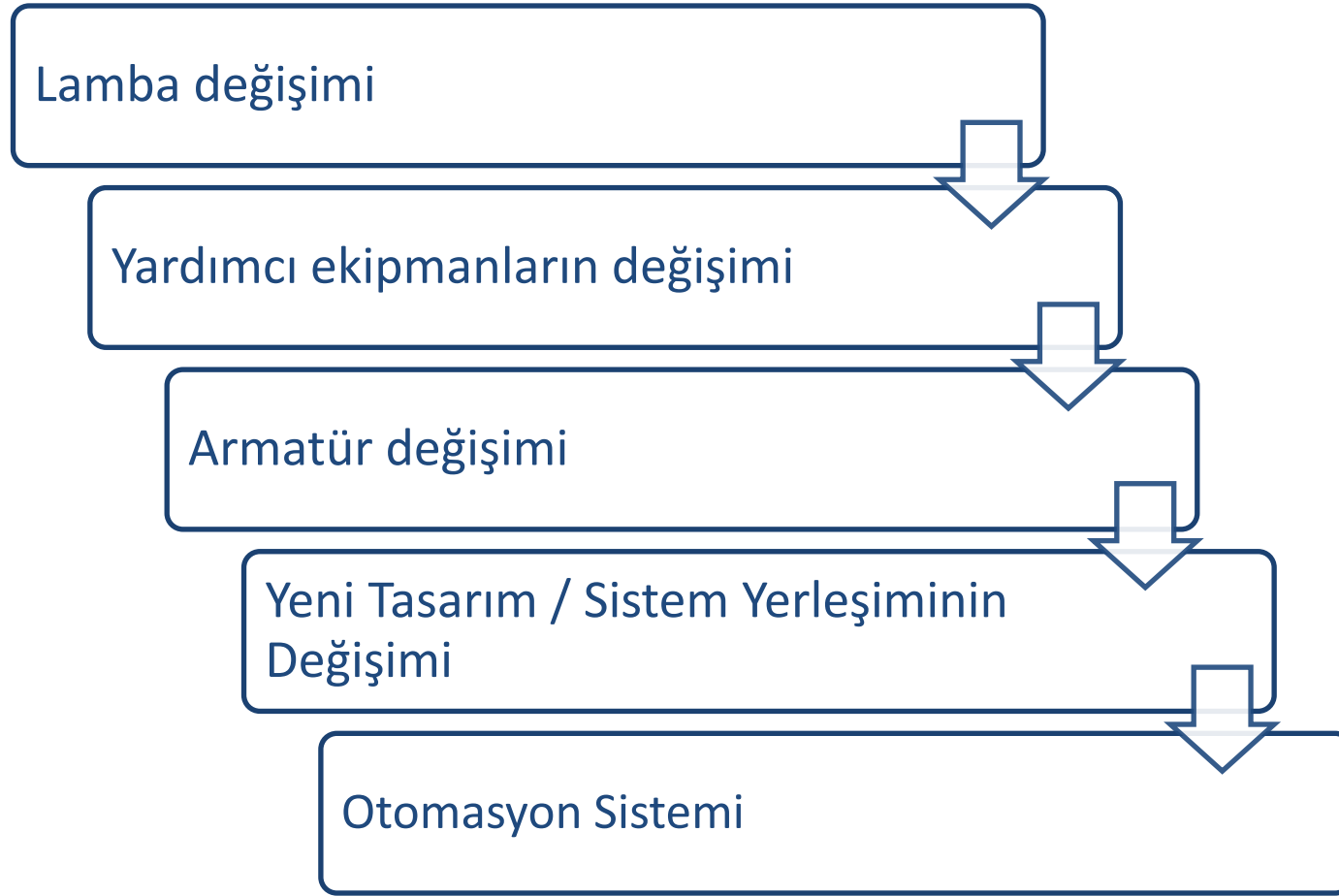
En yüksek enerji tasarruf değerlerine ulaşılması amaçlanırken, yollardaki güvenlik ve konfor koşulları açısından gerekli olan aydınlatma kalitesinin tehlikeye sokulmamasına dikkat edilmelidir.



$$W = \sum_{i=1}^m N_{arm,i} \cdot P_{arm,i} \cdot T_i$$

- W : tüketilen toplam elektrik enerjisi (Wh)
- $N_{arm,i}$: i tipindeki armatür sayısı
- $P_{arm,i}$: i tipindeki her bir armatürün, balast, trafo kayıpları dahil şebekeden çektiği toplam güç (W)
- T_i : i tipindeki armatürün yıllık kullanım süresi (saat)
- m : binadaki armatür tip sayısı





Gerçekçi olmayan tasarruf oranları

- LED teknolojisinin kullanıldığı aydınlatma sistemleri, enerji verimliliği çalışmalarında adeta tek bir çözüm olarak tanıtılmakta ve aydınlatma gerçekleştirilecek ortamların koşulları, LED dışında kullanılabilecek ışık kaynaklarının özellikleri dikkate alınmadan, genel bir ifade ile % 80'lere varan enerji tasarrufu sağlanacağı ileri sürülmektedir.



LED Üreticileri



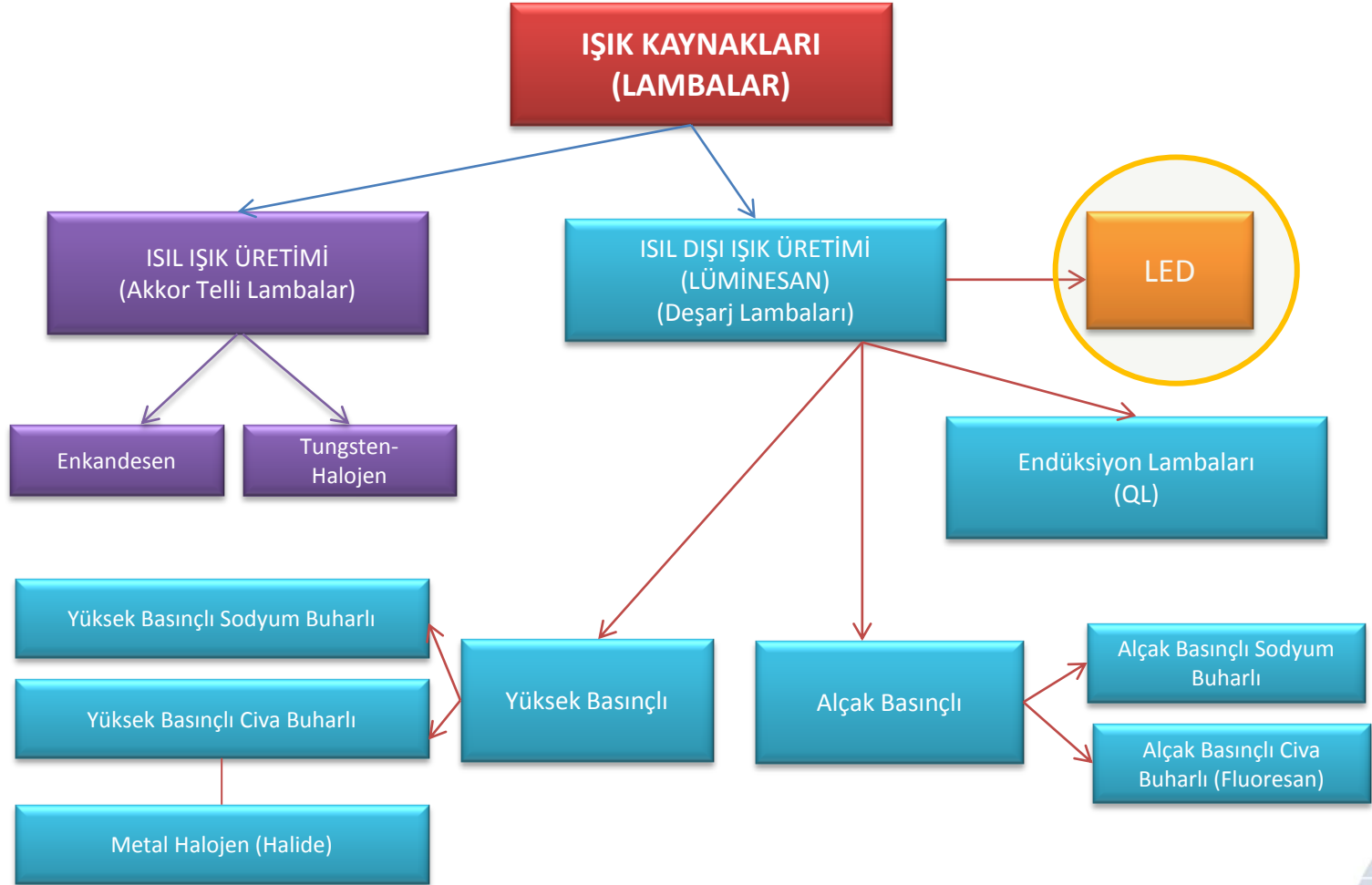
Yetersiz Bilgi



Aydınlatma Uzmanları

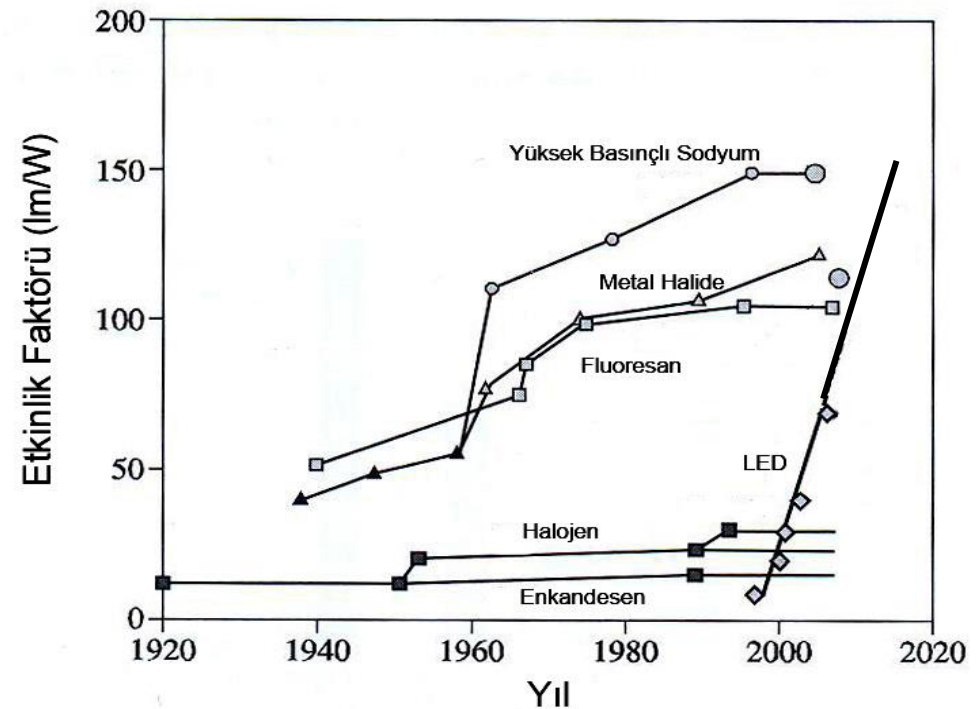
Mevcut problemler hala çözüm bekliyor!

Işık Yayan Diyotlar - LED

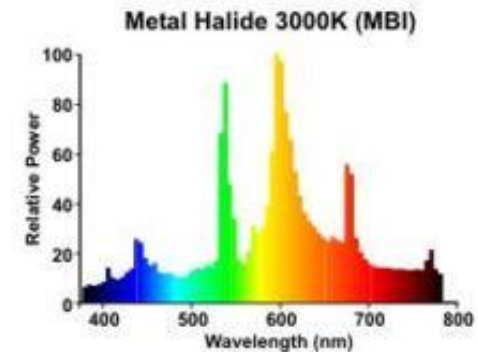
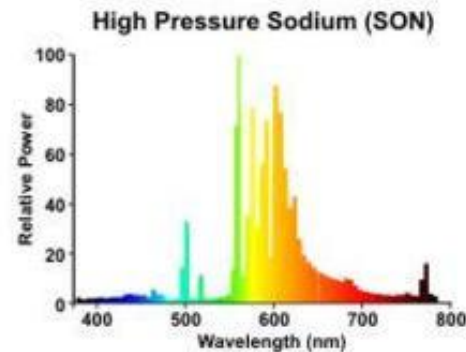
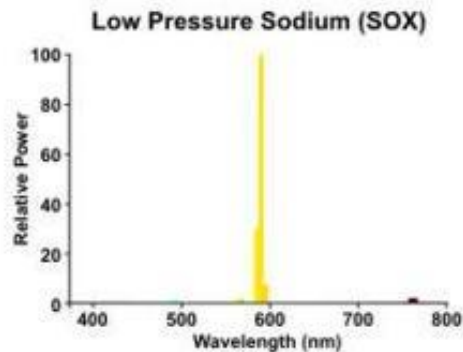
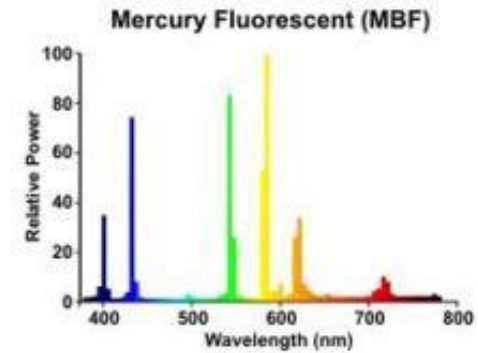
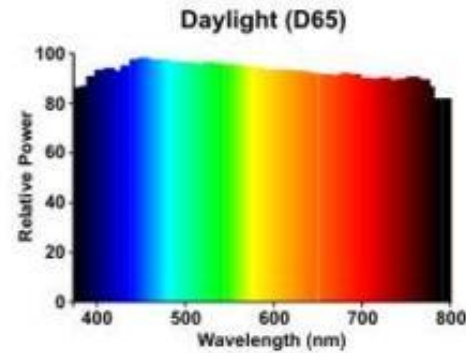
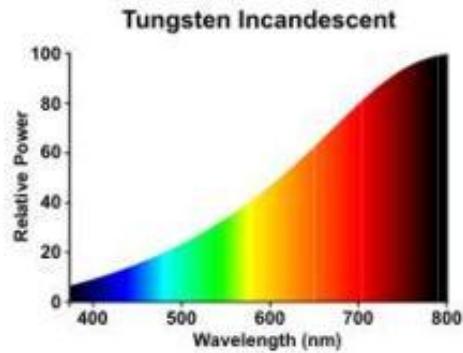
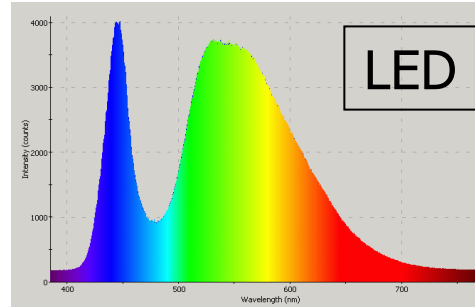


LED - Tarihçe

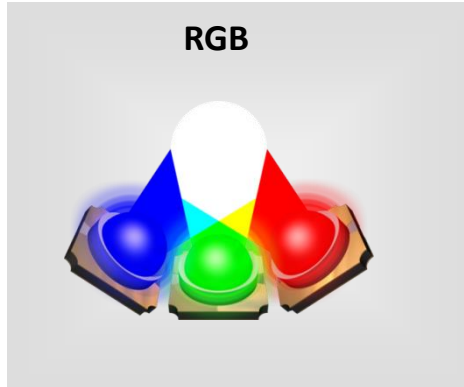
- 1891 : Silisyum Karbür (SiC)
- 1907: Silisyum Karbür + Elektrik → Lüminesan Işık
- 1962: Pratik kullanıma uygun ilk LED
- 1985: Yüksek parlaklığa sahip LED (InGaN)
- 2003: 65 lm/W
- 2006: 101 lm/W
- 2010: 208 lm/W
- 2011: 231 lm/W
- 2012: 254 lm/W
-



Çeşitli Lambaların Spektral Güç Dağılımları



LED'ler ile Beyaz Işık Eldesi



Üstünlükleri:

- Ayarlanabilir renk sıcaklıkları,
- Farklı renk seçenekleri

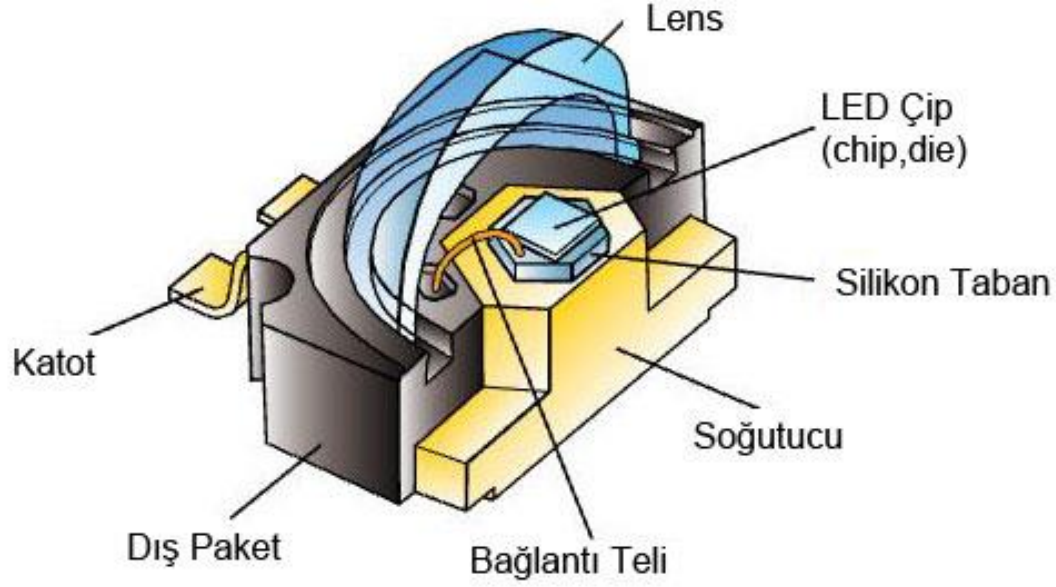
Sakıncaları:

- Kontrolü zor
- Düşük CRI
- Düşük etkinlik faktörü (lm/W)



Üstünlükleri:

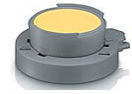
- Tek LED kullanımı
- Kolay kontrol
- Kolay ikincil optik
- İyi CRI
- İyi etkinlik faktörü (lm/W)



LED Işık Kaynağı: LED Çip



LED Modül

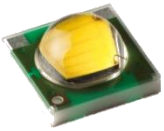


LED Işık Motoru



LED Armatür

LED Çeşitleri

LED Tipi	Sürüş Akımı	Işık Akısı	Uygulamalar
 T1 (3 – 7 mm)	5 – 20 mA	<1 – 4 lm	• Göstergeler • Trafik Işığı
 Yüzeye Monte	5 – 20 mA	1 – 10 lm	• Otomotiv • LCD Arka Aydınlatma • Elektronik Göstergeler
 P4	20 – 100 mA	1 – 20 lm	• Otomotiv • Gösterge
 Yüksek Güçlü	200-1500 mA	50-400 lm	• Genel Aydınlatma • Dekoratif Aydınlatma
 Çok çipli	200-700 mA	150-500 lm	• Genel Aydınlatma
 Çok çipli	200-1000 mA	300-3000 lm	• Genel Aydınlatma

- Kamaşma (halen kullanılmakta olan G ve TI hesap yöntemlerinin yeniden doğrulanması gerekmektedir)
- Renk Sıcaklığı (Çok yüksek renk sıcaklıkları $>8000K$; bakış açısına göre farklı renk sıcaklıkları)
- Mezopik görme (Skotopik/Fotopik > 1.2)
 - Sıcak LED S/P > 1.4
 - Soğuk LED S/P > 2.0
 - Yaşlı kullanıcılar!
- Ömür (L70, sadece LED çip değil, armatür ömrü)
 - Işık akısı sürekliliği
 - Ani LED bozulmaları (Catastrophic LED failure)
- Sürücü akımı ile LED ömrü arasındaki ilişki
- Dış koşulların (kirlenme, titreşim, nem vb.) LED armatür tasarımına etkileri
- Güvenilir veri temini

İnsan Gözünün Spektral Duyarlılığı



Fotopik/Gündüz Görme Koşulları
GÜNIŞIĞI $V(\lambda)$ (yay. 1924)

- koniler (renkler)
- $> 3 \text{ cd/m}^2$

ARA BÖLGEDE

- çomaklar + koniler

Skotopik/Gece Görme Koşulları
AY IŞIĞI $V'(\lambda)$ (yay. 1951)

- çomaklar (şekil ve hareketler)
- $< 0.001 \text{ cd/m}^2$



- Kamaşma (halen kullanılmakta olan G ve TI hesap yöntemlerinin yeniden doğrulanması gerekmektedir)
- Renk Sıcaklığı (Çok yüksek renk sıcaklıkları $>8000K$; bakış açısına göre farklı renk sıcaklıkları)
- Mezopik görme (Skotopik/Fotopik > 1.2)
 - Sıcak LED S/P > 1.4
 - Soğuk LED S/P > 2.0
 - Yaşlı kullanıcılar!
- Ömür (L70, sadece LED çip değil, armatür ömrü)
 - Işık akısı sürekliliği
 - Ani LED bozulmaları (Catastrophic LED failure)
- Sürücü akımı ile LED ömrü arasındaki ilişki
- Dış koşulların (kirlenme, titreşim, nem vb.) LED armatür tasarımına etkileri
- Güvenilir veri temini

- Veriler genelde tek LED çipi için geçerlidir. Oysa ki LED'li bir armatür her birinin performansı farklı ve zamanla da değişebilen bir çok elemandan oluşan kompleks bir sistemdir.



LED

Konvansiyonel



LED Armatür Tasarım Süreci

Aydınlatma Kriterleri

- Aydınlatma Kriteri → LED pazarı hızla büyürken, üretilen armatürlerin minimum aydınlatma gereklerini yerine getiremeyebilme riskleri de vardır.
- Standart ve önerilerden, armatürün kullanılması amaçlanan aydınlatma tesisatlarında sağlanması gereken aydınlatma kriterleri belirlenmelidir.



TS EN 12464-1:2011
Ocak 2012

ICS 91.160.10

İŞIK VE İŞIKLANDIRMA - İŞ MAHALLERİNİN
AYDINLATILMASI - BÖLÜM 1: KAPALI ALANDAKİ İŞ
MAHALLERİ

Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor
work



LED Armatür Tasarım Süreci

Tasarım Hedefleri

- Tasarım Hedefleri → kriterlere uygun armatür tasarım hedefleri saptanmalıdır.



Table 5.3 — Offices

3 Offices					
Ref. no.	Type of interior, task or activity	$\bar{E}_m$ lx	UGR _L -	R _a -	Remarks
3.1	Filing, copying, etc.	300	19	80	
3.2	Writing, typing, reading, data processing	500	19	80	DSE-work: see 4.11.
3.3	Technical drawing	750	16	80	
3.4	CAD work stations	500	19	80	DSE-work: see 4.11.
3.5	Conference and meeting rooms	500	19	80	Lighting should be controllable.
3.6	Reception desk	300	22	80	
3.7	Archives	200	25	80	



LED Armatür Tasarım Süreci

Optik Tasarım

- Aydınlatma kriterlerinin sağlanması için gerekli ışık dağılım eğrileri oluşturulmalıdır.



Işık Kaynağı Modülü



Reflektörlü Tasarım



Tekil LEDler

Lensli Tasarım



1

Aydınlatma
Kriterleri

2

Tasarım
Hedefleri

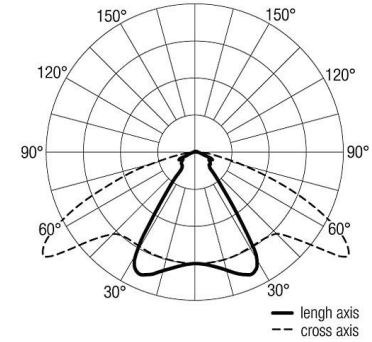
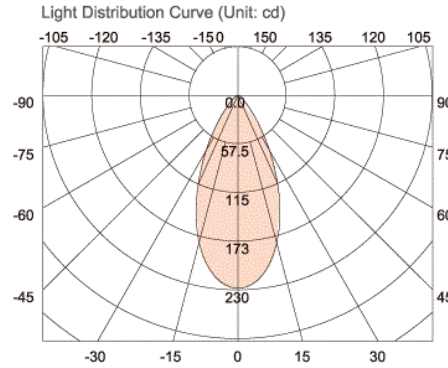
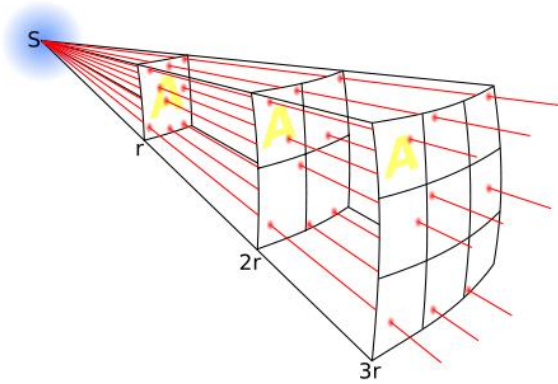
3

- Optik
- Isıl
- Elektriksel

LED Armatür Tasarım Süreci

Optik Tasarım

- Birçok ışıık noktasından oluşan LED aydınlatma armatürlerinin optik özellikleri, ölçümlerde belli kabullerle noktasal kabul edilebilen konvansiyonel ışıık kaynaklı armatürlerden farklıdır.



1

Aydınlatma
Kriterleri

2

Tasarım
Hedefleri

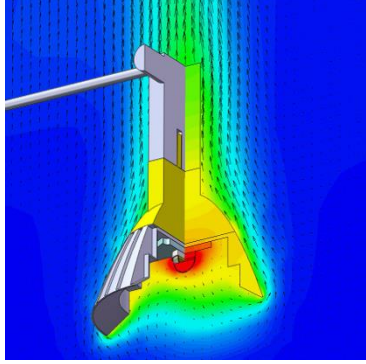
3

- Optik
- Isıl
- Elektriksel

LED Armatür Tasarım Süreci

Isıl – Elektriksel Tasarım

- Isıl Tasarım → Kullanım alanına uygun, optimum çalışma koşullarının yaratılması ve iyi bir ısı yönetim sisteminin oluşturulması
- Elektriksel Tasarım → Verimli güç ve sürücü devreleri

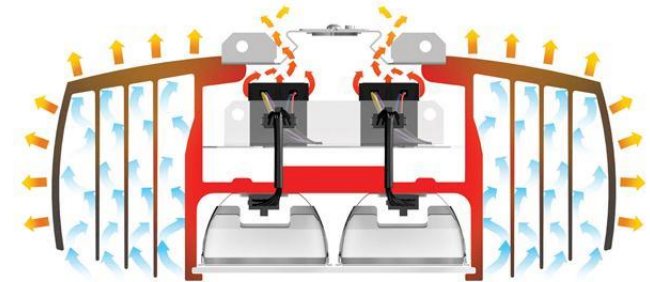


Armatür üreticileri güvenli tasarımlarla tasarımı maksimize, maliyeti minimize edebilmeli ve tüm sistem için belli bir garanti süresi verebilmelidir.

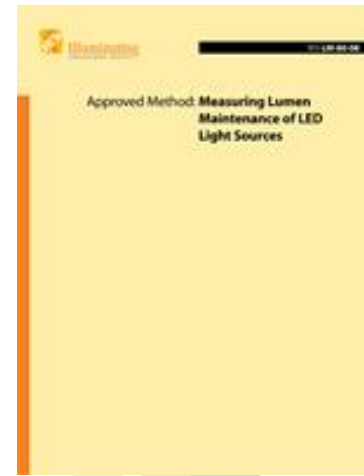
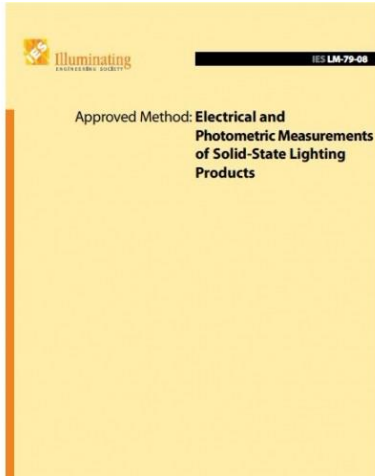
Gereklilik:

Güvenilir veri temini

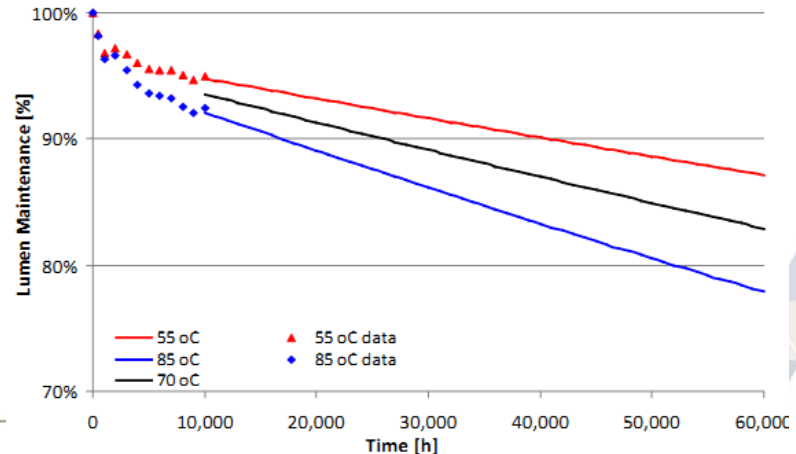
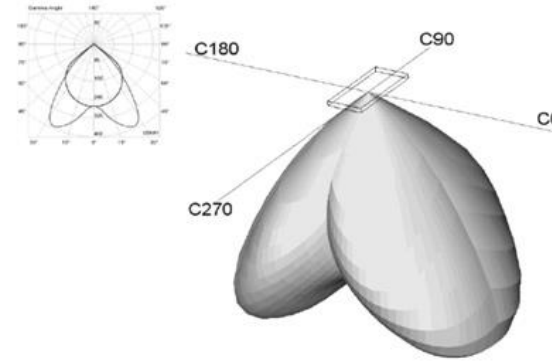
- Çok sayıda durum/koşul için veriler
 - Sürücü akımı
 - Jonksiyon (ek yeri) sıcaklığı
 - Zaman
- Belli zaman aralığında ekstrapolasyon yapılıyor.



- CIE 127:2007 – "LED'lerin Ölçümü " → *Tekil LED Çipler*
- IES LM 79-08 – "Katı Hal Aydınlatma Ürünlerinin Elektriksel ve Fotometrik Ölçümleri " → *Elektronik kontrol elemanları ve soğutucu blokları entegre edilmiş LED bazlı katı hal aydınlatma ürünlerinin ölçümü*
- IES LM 80-08 – "LED Işık Kaynaklarının Işık Akısı Sürekliliği Ölçümü " → *Tekil LED Çipler*
- TM 21-11 – "LED Işık Kaynaklarının Işık Akısı Koruma Yüzdelerinin Uzun Dönem Projeksiyonu" → *Ömür Tahmini*
- Laboratuvar koşullarında performans tahmini yapıyor.



- Laboratuvar koşullarından uzaklaştıkça, LED'lerin performansları ciddi ölçüde değişmektedir.
- Mevcut dokümanlar henüz LED'lerin gerçek çalışma sıcaklıklarında ve armatür formunda geçerli olabilecek bir ölçüm yöntemi önerememektedir.



- Herhangi bir konuda standart eksikliği, o alandaki gelişimi ve uygulanabilirliği yavaşlatmaktadır.
- Aydınlatma kalite kriterlerinin sağlanması için, kesinlikle sahip olunması gereken “*armatür fotometrik verileri*”nin elde edilmesi amacıyla şu an konvansiyonel kaynaklar için tanımlanmış ölçüm yöntemlerinin geçerliliği de, sorgulanması ve acilen çözümlenmesi gereken bir konudur.
- LED teknolojisi alanında herhangi bir organizasyon tarafından yapılan bir standardın şeffaf ve açık olarak zamanında sunulması, tekrarların engellemesi ve gelişmeye açık yönlerinin belirlenmesi açısından son derece önemlidir



- Yol aydınlatması hem yaya hem de sürücüler için çevrelerinin daha güvenli olmasını sağlayan çok önemli bir kamu hizmetidir. Toplam elektrik enerjisi tüketimimizde yaklaşık %2 olarak gösterilen “genel aydınlatma” payı içinde, yol ve sokak aydınlatmaları ağırlıklı olarak yer almaktadır LED'li yol aydınlatması tesisatlarında da mevcut standart ve şartnamelerdeki koşullar sağlanmak zorundadır.
- LED teknolojisinde gelinen son durum henüz M1 aydınlatma sınıfı otoyollar için maliyet etkin çözümlere ulaşılmasına olanak tanımamaktadır.
- Uygulama Alanları
 - Şehir içi ve bağlantı yolları



- Şartnameler

- TEDAŞ (Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.) Malzeme Yönetimi Dairesi Başkanlığı, "Harici Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi", TEDAŞ -MYD/95-009.A, Ekim 1995
- TEDAŞ (Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.) Malzeme Yönetimi Dairesi Başkanlığı, "Yüksek Basıncılı Sodyum Buharlı Lambalar Teknik Şartnamesi", TEDAŞ -MYD/94-001.B, Ekim 1994, Nisan 2006, Ocak 2008 Revizyon
- TEDAŞ (Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.) Malzeme Yönetimi Dairesi Başkanlığı, "Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi", TEDAŞ -MYD/95-009.B, Nisan 2006, Mayıs 2008 Revizyon
- TEDAŞ (Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.) Ar-Ge Planlama ve Dış İlişkiler Daire Başkanlığı, "LED'li (Işık Yayan Diyot'lu) Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi", TEDAŞ-ARGEP/2010-057.A, Eylül 2010, Temmuz 2011 Revizyon



Türkiye Şehir İçi Yol Tanımları ve Yol Aydınlatma Sınıfları

Yol tanımı

Ayd. sınıfı

Şehir bağlantı ve çevre yolları (tek veya iki yönlü, kavşaklar ve bağlantı noktaları ile şehir geçişleri dahil)

- Hız ≥ 90 km/h ;

M1

- Hız < 90 km/h ;

M2

Şehir içi ana güzergahlar (bulvarlar ve caddeler ; ring yolları ; dağıtıcı yollar)

- $50 \text{ km/h} \leq \text{Hız} < 90 \text{ km/h}$; 3 km' den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı var ;

M1

- $50 \text{ km/h} \leq \text{Hız} < 90 \text{ km/h}$; 3 km' den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı yok;

M2

- Hız < 50 km/h;

M3

Şehir içi yollar (yerleşim alanlarına giriş çıkışın yapıldığı ana yollar ve bağlantı yolları)

- Hız ≥ 50 km/h ; 3 km' den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı var ;

M3

- Hız ≥ 50 km/h ; 3 km' den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı yok ;

M4

- Hız < 50 km/h ; 3 km' den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı var ;

M4

- Hız < 50 km/h ; 3 km' den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı yok ;

M5

Yerleşim (ikametgah) bölgelerindeki yollar

- $30 \leq \text{Hız} < 50$ km/h ; suç oranı yüksek;

M4

- $30 \leq \text{Hız} < 50$ km/h ; suç oranı normal;

M5

- Hız < 30 km/h ; suç oranı yüksek;

M5

- Hız < 30 km/h; suç oranı normal;

M6

Yol Aydınlatma Sınıflarında Sağlanması Gereken Aydınlatma Kalite Büyüklükleri

	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	-

CIE 115-1995

"Recommendations for the Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic"

L_{ort} :ort. Parıltı

U_o :ort. Düzgünlük

U_l :boyuna düzgünlük

TI:bağlı eşik artışı

SR:çevreleme oranı

Gelişen Teknoloji – Şartnamelerin Güncellenme Zorunluluğu

Gelişen teknolojiler takip edilerek, mevcut ŞARTNAMELER sürekli güncel tutulmak zorundadır.

- Örneğin, **CIE 115-1995** yerine **CIE 115-2010**

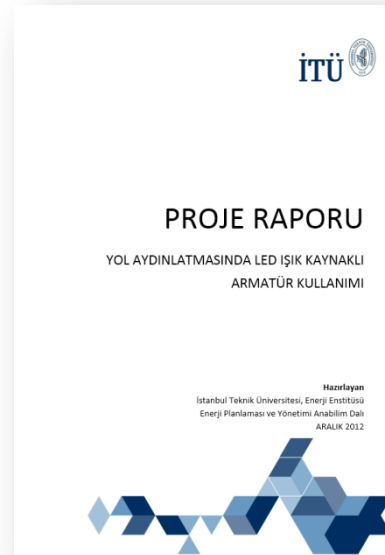
LED teknolojisi sürekli gelişmekte olup, LED'li armatürlerin test standart ve performans ölçüm-değerlendirme yöntemleri konusunda eksiklikler vardır.

- Mevcut standartların çoğu tekil LED çiplerin tanımları ve güvenlik gereklilikleri üzerinedir. LED'li armatür performans standartlarının da hazırlanması gerekmektedir.
- Mevcut olan bu dokümanlar, LED'lerin gerçek çalışma sıcaklıklarında geçerli olabilecek ölçüm ve değerlendirme yöntemlerini önerememektedir.

Sıcaklığın artışı, LED'lerin ışık akılarını, renksel özelliklerini ve ömürlerini olumsuz olarak etkilemektedir.



- Aralık 2012 – «Yol Aydınlatmasında LED Işık Kaynaklı Armatür Kullanımı»
 - LED bazlı armatürlerin yol aydınlatmalarında kullanılmalarında mevcut teknoloji ile sağlanabilecek gerçek enerji tasarruf oranları,
 - LED teknolojisinin üstünlük ve sorunlarının analizi,
 - Dünyadaki LED'li yol aydınlatması uygulamaları, projeleri, demo çalışmaları hakkında özet bilgilerin yer aldığı RAPOR, "İTÜ Enerji Enstitüsü Enerji Planlaması ve Yönetimi Anabilim Dalı" tarafından hazırlanmıştır.



LED'lerin Üstünlükleri:

- Enerji verimliliği (lm/W)
- Uzun ömür (100 000 saat? , 30 000 saat?)
- Renk kalitesi (CCT, CRI)
- Mezopik görme koşulları
- Kontrol sistemleri ile uyum
- Küçük boyut – doğrultusal ışık ile ışık dağılımının kontrolü
- Çevre dostu
- Mekanik dayanıklılık ve bakım gerektirmemesi

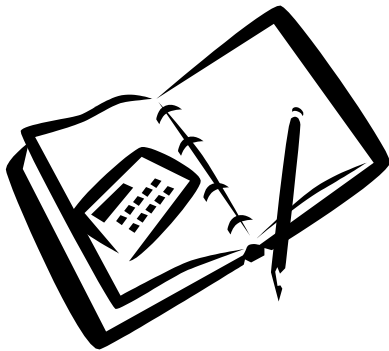


LED'lerin Sakıncaları:

- Kamaşma
- Isı dönüşüm oranı (%20 Işık, %80 Isı)
- Armatür ağırlığı (soğutma ihtiyacı)
- Beyaz ışık üretimi
- Tesis maliyeti
- Tasarım ve üretim deneyimsizliği
- Ölçüm yöntemi ve standart eksikliği

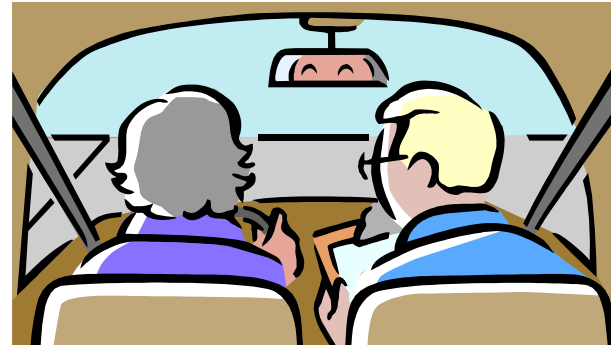


- LED'li armatürlerin verimliliklerinin karşılaştırılmasında armatür etkinlik faktörü (lm/W) değerin dikkate alınması önerilmektedir.
- Bir LED ışık kaynaklı armatür kullanımına karar verilirken, yol sınıfı için gerekli aydınlatma kalite büyüklüklerinin sağlandığından emin olunmalıdır. Enerji verimli çözümlere ulaşılmasında sadece sağlanabilecek enerji tasarruf değerlerinin değil, beraberinde detaylı ekonomik analizlerin de yapılması gerekmektedir.



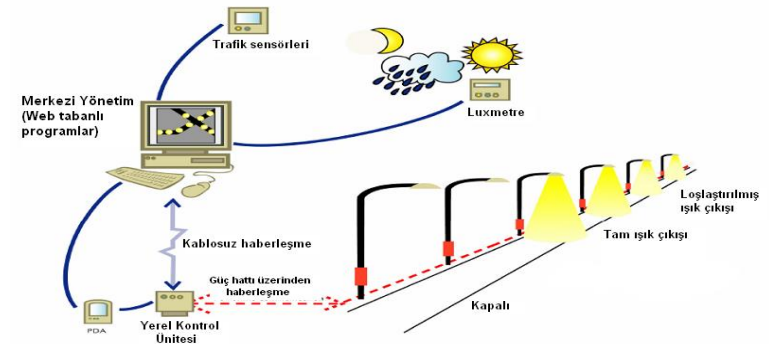
lm/W

- Ömrü boyunca açılmaması ya da gerekli olduğunda imalatçısı tarafından müdahale edilmesi önerilen LED'li armatürlerin ömrü, armatürün tüm elemanlarının bozulmadan çalışması için geçerli olabilecek bir süre olmalıdır. Henüz daha LED'li yol aydınlatması armatürlerinin ömürlerini belirleyen yöntemleri içeren bir standart yoktur.
- Renksel geriverim endeksleri YBSBL'li olanlara göre daha iyi olan LED'li aydınlatmalarda sürücü ve yayaların yol işaretlerini ve etraflarındaki diğer cisimleri görebilmelerinin kolaylaştığı, bunun sonucunda da sürücü reaksiyon süresinin kısalabileceği ve trafik güvenliğinin iyileşeceği iddia edilmektedir.

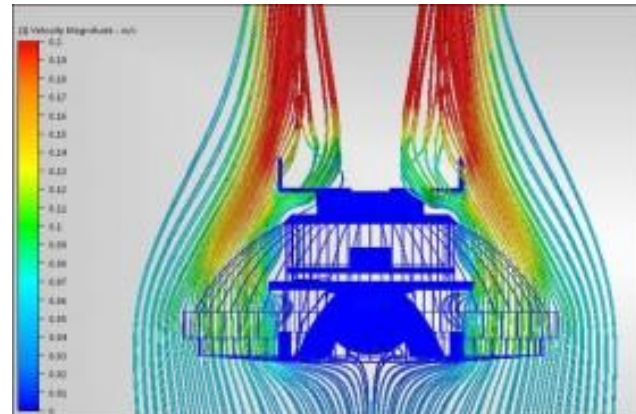


- LED'lerde en yüksek etkinlik faktörlerine soğuk görünümlü yüksek renk sıcaklıklarında (6000 K'in üstünde) ulaşabilmektedir. Sıcak renk görünümlü LED ışık kaynaklarında (4000 K ve altı) ışık akısı değeri önemli ölçüde azalmaktadır. Kullanıcı memnuniyetleri açısından ışık rengi tercihi konusunda henüz net araştırma sonuçları olmadığı için, test amaçlı farklı renk görünümlü yollar tesis edilerek geri dönüşlerin sorgulanması yararlı bir uygulama olacaktır.
- LED'li yol aydınlatma armatürlerinin en önemli üstünlüğü olarak, gelişmiş kontrol sistemleri ile ek ünitelere ihtiyaç duymadan verimli bir şekilde çalışabilmeleri gösterilmektedir.

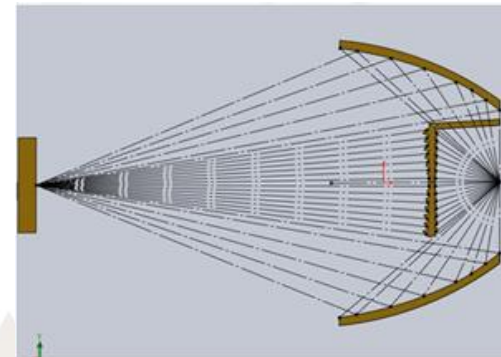
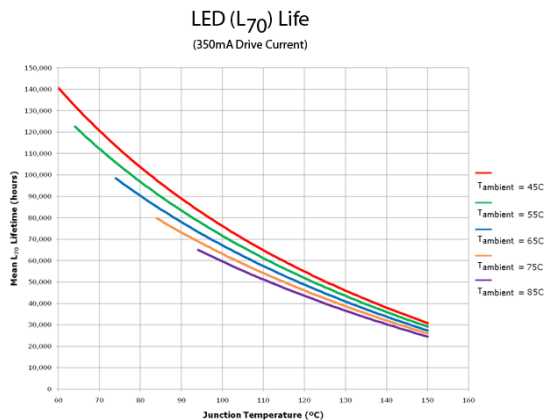
lm/w



- YBSBL'li yol aydınlatması tesisatları için yeterli kabul edilen T1 – eşik artış oranı yöntemi, LED'li tesisatlar için kamaşma olayının değerlendirilmesinde yetersiz kalmaktadır.
- LED'li armatürlerde ısı yönetimi en önemli tasarım problemidir. LED'li armatürlerde ihtiyaç duyulan iyi ısı yönetimi, hava kanalları ve dayanıklı gövde malzemelerinin kullanımını gerekli kılmakta ve bu gereklilikler armatür ağırlığının artmasına neden olmaktadır.



- LED teknolojisi çok hızlı geliştiği için, şu anda en verimli bulunarak kullanımına karar verilenler belli bir süre sonra yetersiz kalabileceklerdir. LED modüllerin kolayca değiştirilemediği armatürlerin ömürleri, LED ömrü kadar sadece 10 yıl olabilecektir.
- LED'lerin ışıklarını yönlendirmek ve kontrol etmek için gerekli optik tasarım, konvansiyonel deşarj lambalarından büyük ölçüde farklı olduğundan, enerji tasarrufu amaçlı mevcut armatürler içine lamba formunda LED teknolojisinin monte edilmesi son derece yanlış bir uygulama olacaktır.



LED'lerin Yol Aydınlatmasında Kullanılması

- İyi ısı ve optik tasarım, LED paket etkinlik faktörlerindeki artışlar, sürücü veriminin yükseltilmesi ile şu an ulaşılabilir olan 100 lm/W LED'li yol aydınlatma armatürleri etkinlik faktörü değerinin zaman içinde yükseleceği beklenmektedir.
- LED'li yol aydınlatması armatürlerinin henüz dış koşullara dayanıklılıkları tam olarak test edilememiştir.
- Endüstride LED'li armatürlerin test standart ve performans ölçüm-değerlendirme yöntemleri konusunda boşluk vardır. LED çip performans ölçüm standartlarının yanı sıra, LED'li armatür performans standartlarının da hazırlanması gerekmektedir.

lm/W



LED'li Armatürler ile Sağlanabilecek Enerji Tasarruf Oranları

- Yapılacak aydınlatma hesaplarında kullanılmak üzere yerli ve yabancı markalara ait çok sayıda armatürün fotometrik verileri elde edilmiştir
 - 4 yerli, 4 yabancı firma

Armatür	Armatür Model Sayısı	Fotometrik Veri Sayısı	Dialux Hesap Kombinasyon Sayısı	Aydınlatma Kriterlerini Sağlayan Tesisat Sayısı
YBSBL Yerli	15	15	9456	721
YBSBL Yabancı	60	324	437616	32141
YBSBL Toplam	75	339	447112	32862
LED Yerli	11	11	10482	2
LED Yabancı	43	2428	2960712	284573
LED Toplam	54	2439	2971296	284575

LED'li Armatürler ile Sağlanabilecek Enerji Tasarruf Oranları

TEDAŞ MYD/94-001.B teknik şartnamesinde farklı yol aydınlatma sınıfları için sağlanması gereken minimum direkler arası açıklıklar

Lamba Gücü [W]	Aydınlatma Düzenekleri	Aydınlatma Sınıfı	Şerit Sayısı	Şerit Genişliği [m]	Refüj Genişliği min. [m]	Direkler arası açıklık [m]
70	-Soldan tek taraflı -Sağdan tek taraflı	M4	2	3.5	-	28
100	-Soldan tek taraflı -Sağdan tek taraflı	M3	2	3.5	-	28
150	-Karşılıklı -Kaydırılmış	M2	4	3.5	-	40
250	-Refüjden çift konsollu karşılıklı -Refüjden çift konsollu kaydırılmış	M1	2x3	3.5	2	48
400	-Refüjden çift konsollu karşılıklı -Refüjden çift konsollu kaydırılmış	M1	2x5	3.5	2	55

LED'li Armatürler ile Sağlanabilecek Enerji Tasarruf Oranları

Aydınlatma hesaplarında kullanılacak parametreler ve değişim aralıkları

Yol Ayd. Sınıfı	YBSBL'li Armatürler için Armatür Güçleri* [W]	YBSB Lamba Işık Akıları [lm]	LED'li Armatürler için Işık Akısı Aralığı [lm]	s [m]	h [m]	k [m]	Θ^{**} [°]	Şerit Sayısı	Düzenek
M1	432	56500	> 20000	55-75	15-22	0-2	0-15	2x5	Refüjden çift konsollu karşılıklı
M1	276	33000	> 20000	48-65	14-20	0-2	0-15	2x3	Refüjden çift konsollu karşılıklı
M2	170	17500	12000-20000	40-55	10-15	0-2	0-15	4	Karşılıklı
M3	115	10000	7500-12000	28-45	8-13	0-2	0-15	2	Soldan tek tarafli
M4	83	6600	4500-7500	28-45	6-11	0-2	0-15	2	Soldan tek tarafli
M5	61	4400	2500-5000	22-45	5-11	0-1	0-15	2	Soldan tek tarafli

LED'li Armatürler ile Sağlanabilecek Enerji Tasarruf Oranları

Tüm yol aydınlatma sınıfları için elde edilen armatür ve fotometrik veri sayıları ile aydınlatma kriterlerini sağlayan tesisat sayıları

Armatür	Armatür Model Sayısı	Fotometrik Veri Sayısı	Dialux Hesap Kombinasyon Sayısı	Aydınlatma Kriterlerini Sağlayan Tesisat Sayısı
YBSBL Yerli	15	15	9456	721
YBSBL Yabancı	60	324	437616	32141
YBSBL Toplam	75	339	447112	32862
LED Yerli	11	11	10482	2
LED Yabancı	43	2428	2960712	284573
LED Toplam	54	2439	2971296	284575

M1 Sınıfı 400W YBSBL

YBSBL'li Armatürler	Armatür Model Sayısı	Fotometrik veri sayısı (.ldt)	Aydınlatma Kriterlerine Uygunluk
YER02	1	1	Uygun
YER03	1	1	Uygun
YER04	1	1	Uygun
YAB01	3	4	Uygun Değil
YAB02	2	5	Uygun
YAB03	2	4	Uygun
YAB04	1	2	Uygun

M1 Sınıfı (20000lm ve üstü)

LED'li Armatürler	Armatür Model Sayısı	Fotometrik veri sayısı (.ldt)	Aydınlatma Kriterlerine Uygunluk
YAB02	2	57	Uygun
YAB03	1	45	Uygun

M3 Sınıfı

M3 Sınıfı 100W YBSBL

YBSBL'li Armatürler	Armatür Model Sayısı	Fotometrik veri sayısı (.ldt)	DiaLux Hesap Kombinasyon Sayısı	Aydınlatma Kriterlerine Uygun Hesap Sayısı
YER01	1	1	1560	329
YAB01	2	3	4680	0
YAB02	4	49	76440	8337
YAB03	4	6	9360	1398
YAB04	2	20	31200	841

M3 Sınıfı (7500lm~12000lm)

LED'li Armatürler	Armatür Model Sayısı	Fotometrik veri sayısı (.ldt)	DiaLux Hesap Kombinasyon Sayısı	Aydınlatma Kriterlerine Uygun Hesap Sayısı
YAB01	2	17	26520	0
YAB02	4	480	748800	102644
YAB03	3	164	255840	16490
YAB04	1	9	14040	427

M5 Sınıfı

M5 Sınıfı 50W YBSBL

YBSBL'li Armatürler	Armatür Model Sayısı	Fotometrik veri sayısı (.ldt)	DiaLux Hesap Kombinasyon Sayısı	Aydınlatma Kriterlerine Uygun Hesap Sayısı
YER01	1	1	1176	217
YAB02	4	24	28224	4112
YAB03	1	1	1176	105
YAB04	1	11	12936	822

M5 Sınıfı (2500lm~5000lm)

LED'li Armatürler	Armatür Model Sayısı	Fotometrik veri sayısı (.ldt)	DiaLux Hesap Kombinasyon Sayısı	Aydınlatma Kriterlerine Uygun Hesap Sayısı
YER04	3	3	882	2
YAB01	1	11	3234	0
YAB02	9	231	104832	15104
YAB03	3	169	49686	7482

Özet Tablo (YBSBL'li)

Ayd. Sınıfı	Armatür kodu	Işık Akısı [lm]	Güç* [W]	Armatür Etkinlik Faktörü [lm/W]	s [m]	h [m]	k [m]	Θ [°]	L _{ort} [cd/m ²]	U ₀	U ₁	Tl [%]	SR	Arm. Sayısı** [# /km]	kW/ km
M1 (2x5 şerit)	YAB1102-5	56500	432	106	88	22	2	0	2.06	0.47	0.70	10	0,69	45.5	19.64
	YAB1103-2	56500	432	97	74	22	2	10	2.00	0.52	0.78	7	0,78	54.1	23.35
	YAB1104-1	56500	432	105	74	22	2	10	2.03	0.55	0.78	10	0,85	54.1	23.35
	YER1103-1	56500	432	103	74	19	2	0	2.07	0.52	0.71	8	0,80	54.1	23.35
	YER1104-1	56500	432	94	65	21	2	5	2.07	0.55	0.71	7	0,81	61.5	26.58
	YER1102-1	56500	432	82	65	17	2	0	2.00	0.45	0.71	9	0,74	61.5	26.58
M1 (2x3 şerit)	YAB1204-1	33000	276	101	75	19	2	0	2.06	0.53	0.73	11	0,81	53.3	14.72
	YAB1202-1	33000	276	94	70	19	2	5	2.06	0.53	0.72	8	0,72	57.1	15.77
	YAB1203-1	33000	276	93	72	19	2	5	2.10	0.49	0.70	10	0,72	55.6	15.33
	YER1201-1	33000	276	90	63	19	2	0	2.10	0.52	0.70	7	0,83	63.5	17.52
	YER1203-1	33000	276	94	62	16	2	0	2.01	0.60	0.76	9	0,84	64.5	17.81
	YER1202-1	33000	276	77	57	14	2	0	2.05	0.52	0.70	10	0,79	70.2	19.37
M2	YER1204-1	33000	276	76	58	17	2	0	2.16	0.55	0.70	6	0,80	69.0	19.03
	YAB202-32	17500	170	91	55	15	0.5	0	1.52	0.51	0.80	10	0.53	36.4	6.18
	YAB202-22	17500	170	85	51	13	2	0	1.55	0.46	0.71	10	0.50	39.2	6.67
	YAB203-3	17500	170	79	46	12	2	0	1.51	0.47	0.76	10	0.53	43.5	7.39
	YER201-1	17500	170	81	43	14	2	5	1.50	0.57	0.71	8	0.60	46.5	7.91
	YAB204-8	17500	170	90	43	15	0	0	1.60	0.63	0.71	10	0.67	46.5	7.91

s: direkler arası mesafe; h montaj yüksekliği; k konsol boyu; Θ:konsol açısı; L_{ort}:ort. parıltı; U₀:ort. düzgünlük; U₁:boyuna düzgünlük; Tl:bağlı eşik artışı; R_s:çevreleme oranı , *Balast kaybı dahil, **1 km için armatür sayısı

Özet Tablo (YBSBL'li)

Ayd. Sınıfı	Armatür Kodu	Işık Akısı [lm]	Güç* [W]	Etkinlik Faktörü [lm/W]	s [m]	h [m]	k [m]	θ [°]	L _{ort} [cd/m ²]	U ₀	U _l	TI [%]	SR	Arm. Sayısı** [# /km]	kW/km
M3	YER301-1	10000	115	73	38	10	2	0	1.02	0.47	0.72	10	0.53	26.3	3.03
	YAB302-13	10000	115	77	40	11	2	5	1.01	0.48	0.75	10	0.53	25.0	2.88
	YAB303-3	10000	115	75	39	11	2	0	1.03	0.52	0.53	10	0.61	25.6	2.95
	YAB304-11	10000	115	76	35	11	2	0	1.01	0.53	0.64	10	0.74	28.6	3.29
M4	YER401-1	6600	83	64	33	9	2	0	0.77	0.50	0.50	12	0.54	30.3	2.52
	YAB402-9	6600	83	67	35	8	1	0	0.75	0.45	0.58	15	0.50	28.6	2.37
	YAB403-1	6600	83	65	37	8	2	5	0.79	0.41	0.70	15	0.50	27.0	2.24
	YAB404-18	6600	83	65	33	9	1.5	5	0.75	0.49	0.55	12	0.63	30.3	2.52
M5	YER501-1	4400	61	56	31	7	1	10	0.50	0.42	0.47	14	0.51	32.3	1.97
	YAB502-14	4400	61	59	33	8	0.5	0	0.50	0.38	0.75	12	0.5	30.3	1.85
	YAB503-1	4400	61	55	29	10	1	0	0.50	0.35	0.76	7	0.54	34.5	2.10
	YAB504-11	4400	61	63	34	6	1	5	0.50	0.36	0.48	14	0.54	29.4	1.79

s: direkler arası mesafe; h: montaj yüksekliği; k: konsol boyu; θ: konsol açısı; L_{ort}: ort. parıltı; U₀: ort. düzgünlük; U_l: boyuna düzgünlük; TI: bağıl eşik artışı; R_s: çevreleme oranı, *Balast kaybı dahil, **1 km için armatür sayısı

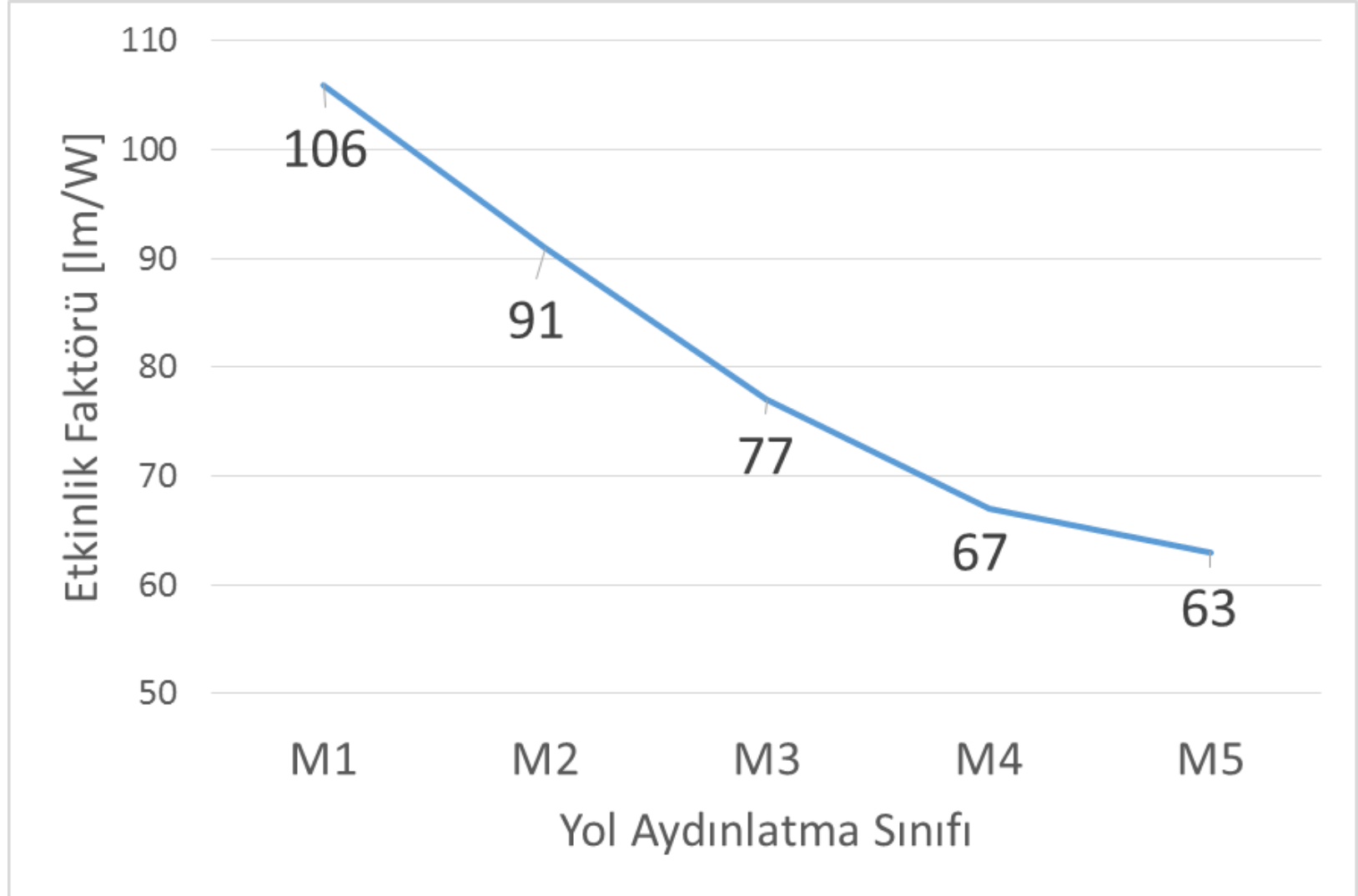
Özet Tablo (LED'li)

Ayd. Sınıfı	Armatür kodu	Işık Akısı [lm]	Güç [W]	Armatür Etkinlik Faktörü [lm/W]	s [m]	h [m]	k [m]	Θ [°]	L_{ort} [cd/m ²]	U_0	U_l	TI [%]	SR	Arm. Sayısı	kW/km
M1 (2x5 şerit)	YAB102-2	23797	256.4	93	59	17	1.5	0	2.03	0.4	0.78	10	0.70	67.8	17.08
M1 (2x3 şerit)	YAB102-1	20281	218.2	93	71	17	2	0	2.03	0.44	0.8	10	0.68	56.3	12.29
	YAB103-1	20671	206.0	100	69	17	2	0	2.09	0.5	0.84	10	0.52	58	11.94
M2	YAB202-233	14185	129	110	52	15	1	0	1.5	0.52	0.8	10	0.52	38.5	4.96
	YAB203-37	18288	144	127	55	14	2	0	1.54	0.48	0.86	10	0.51	36.4	5.24
	YAB304-1	11000	161	68	39	8	0	0	1.09	0.55	0.53	10	0.59	25.6	4.13
M3	YAB303-23	10160	80	127	40	9	1.5	0	1.07	0.55	0.67	10	0.53	25.0	2.00
	YAB303-164	7573	62	122	34	13	2	0	1	0.53	0.58	10	0.67	29.4	1.82
	YAB302-19	8798	74	119	40	10	1	0	1.01	0.57	0.68	10	0.62	25.0	1.85
M4	YAB403-221	5320	39	136	34	11	1.5	0	0.78	0.4	0.51	13	0.59	29.4	1.15
	YAB402-10	6336	67	95	40	8	1	0	0.75	0.56	0.52	13	0.56	25.0	1.68
	YAB404-2	6800	100	68	33	9	2	0	0.76	0.51	0.5	6	0.64	30.3	3.03
M5	YAB502-35	4032	46	88	42	9	0.5	0	0.5	0.47	0.57	12	0.54	23.8	1.10
	YAB503-157	4256	31	137	41	11	1	0	0.5	0.37	0.44	15	0.59	24.4	0.76
	YER504-2	4320	44.6	97	23	10	1	0	0.5	0.43	0.48	2	0.65	43.5	1.94

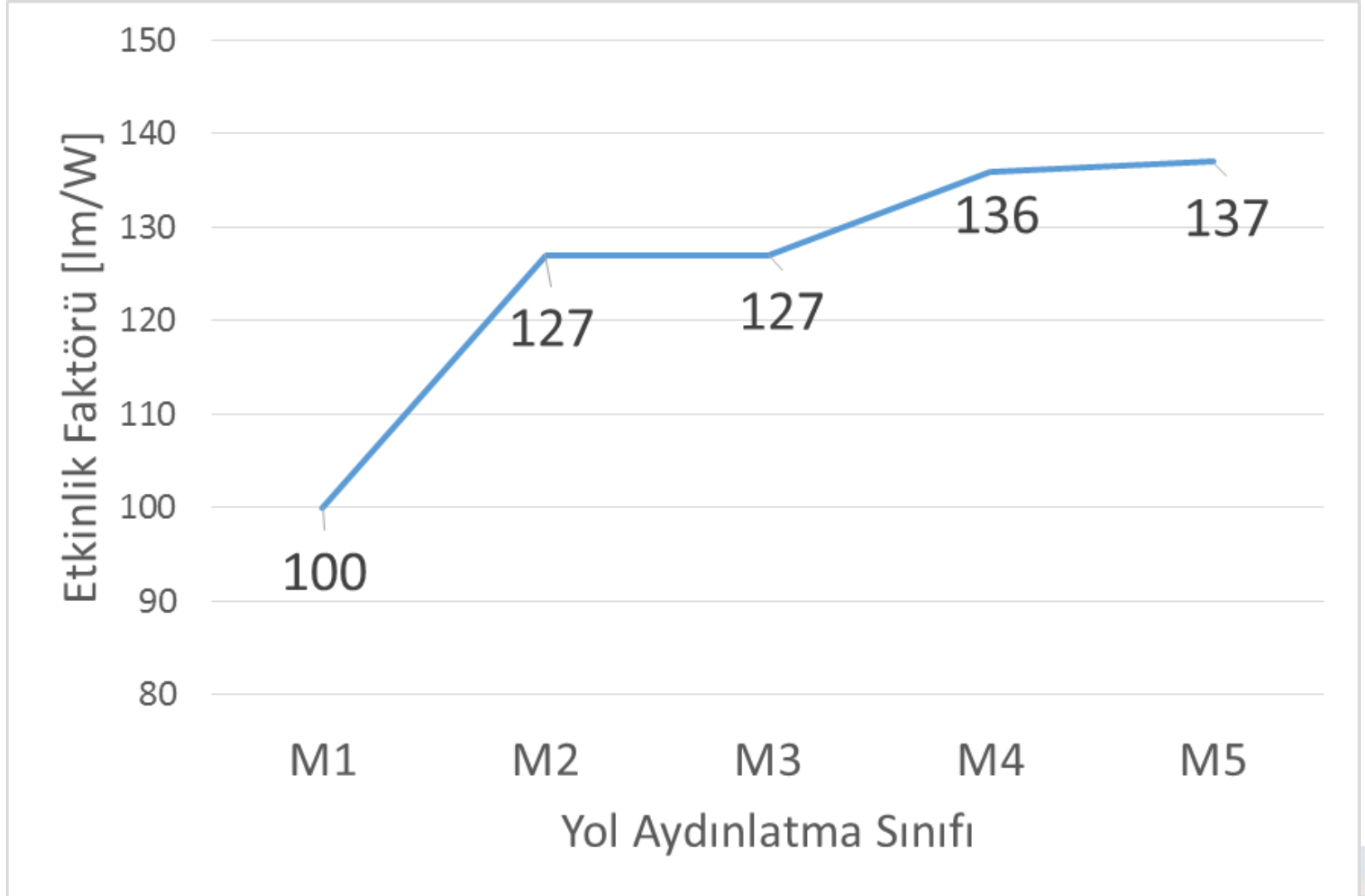
Tasarruf Oranları (YBSBL'li – LED'li)

Aydınlatma Sınıfı	Lamba Tipi	Armatür Kodu	Güç [W]	Armatür Etkinlik Faktörü [lm/W]	Direkler Arası Açıklık [m]	Arm. Sayısı [# /km]	Kurulu Güç [kW/km]	Tasarruf Oranı
M1 (2x5 şerit)	YBSBL	YAB1102-5	432	106	88	45.5	19.64	%13
	LED	YAB102-2	256.4	93	59	67.8	17.08	
M1 (2x3 şerit)	YBSBL	YAB1204-1	276	101	75	53.3	14.72	%19
	LED	YAB103-1	206	100	69	58.0	11.89	
M2	YBSBL	YAB202-32	170	91	55	36.7	6.18	%20
	LED	YAB202-233	129	110	52	38.5	4.96	
M3	YBSBL	YAB302-13	115	77	40	25.0	2.88	%37
	LED	YAB303-164	62	122	34	29.4	1.82	
M4	YBSBL	YAB403-1	83	65	37	27.0	2.24	%49
	LED	YAB403-221	39	136	34	29.4	1.15	
M5	YBSBL	YAB504-11	61	63	34	29.4	1.79	%58
	LED	YAB503-157	31	137	41	24.4	0.76	

YBSBL Armatür Maksimum Etkinlik Faktörü vs. Yol Aydınlatma Sınıfı



LED Armatür Maksimum Etkinlik Faktörü vs. Yol Aydınlatma Sınıfı

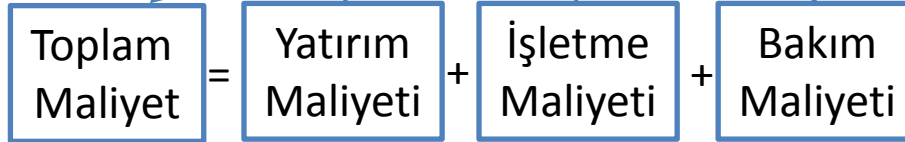


- Bir projede sağlanabilecek enerji tasarrufu mevcut aydınlatma teknolojisi, yeni uygulanabilecek aydınlatma teknolojisi, kontrol stratejileri ve retrofit/değişim esnasında aydınlatma kalite büyüklüklerinin değişip değişmemesi gibi faktörlere bağlıdır.
- Sadece armatür değişimli retrofit projelerinde mevcut direk konumu veya direkler arası açıklıklar yolun kullanım amacı ve geometrisine uygun en optimum çözüm olmayabilir.
- Tesisatlar yeniden ele alınırken yolun dahil edilebildiği aydınlatma sınıfı için gerekli aydınlatma kalite büyüklükleri sağlanmalıdır. Mevcut tesisatta olması gerekenden çok yüksek aydınlatma değerleri varsa, yolun konumu itibari ile özel durumu da dikkate alınarak aydınlatma seviyesinin azaltılması da düşünülmelidir.

Farklı iki alternatif tesisat karşılaştırılırken sadece enerji tasarruf oranlarının değil, ilk yatırım (tesis) ve bakım masraflarının da dikkate alındığı uzun süreli maliyet analizlerinin yapılması gerekir.



$$TM = YM + İM + BM$$



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

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)

$$İM = n.P_i.ef.10^{-3}.365.t_i$$

P_i	armatür gücü (W)
ef	elektrik birim fiyatı (TL/kWh)
t_i	günlük kullanım süresi (saat)

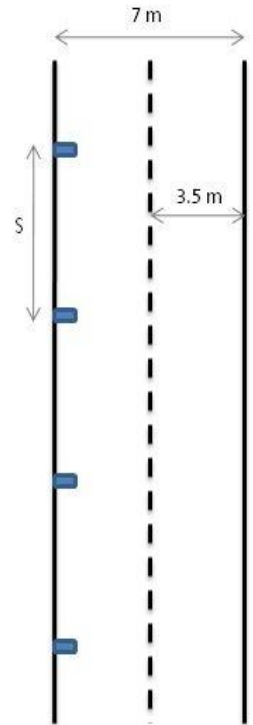
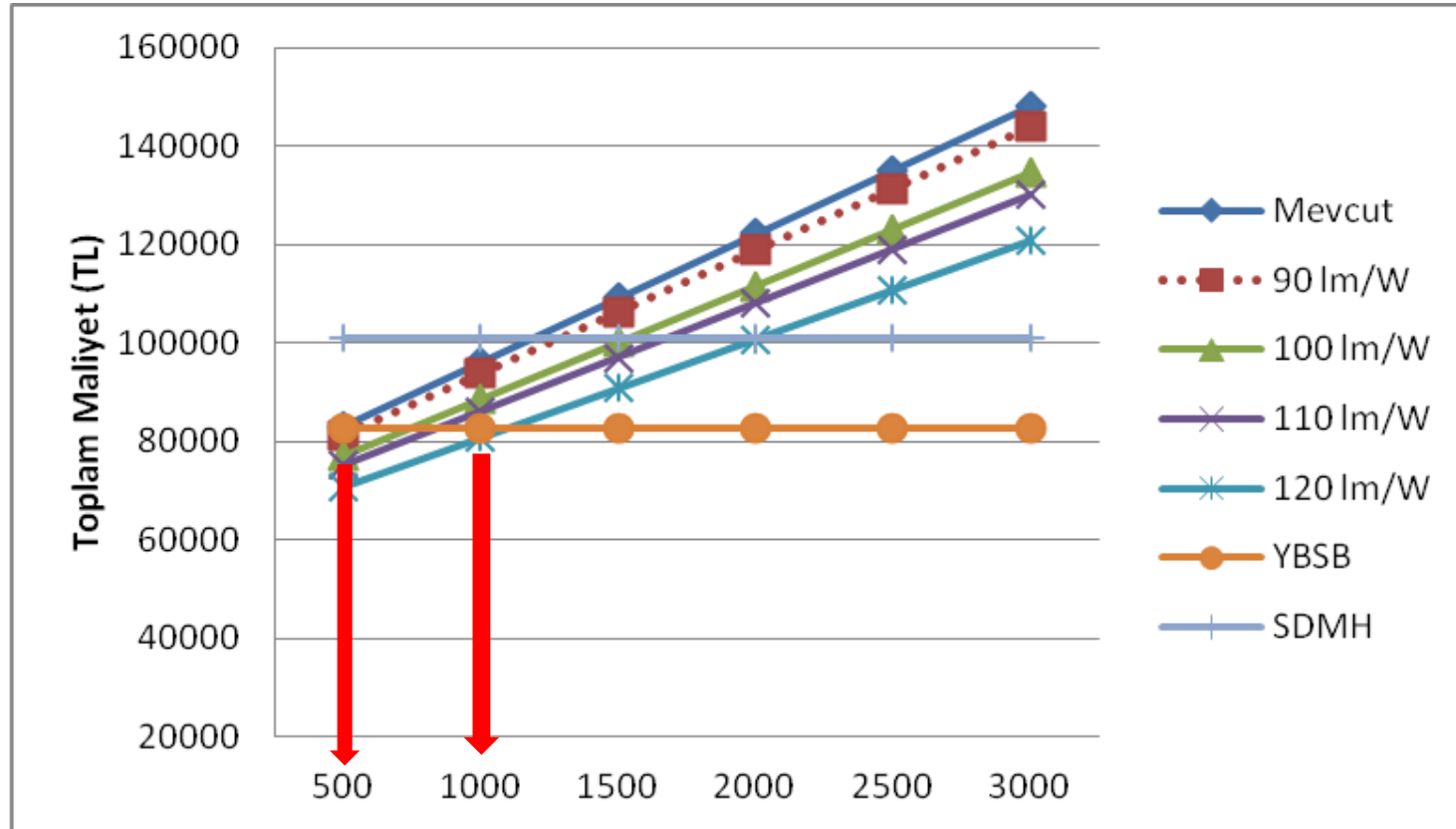
$$BM = ls.(lf+lmf) + [(ps.pf+yf).n / bas.t_ç]$$

ps	personel sayısı
pf	personel günlük yövmiyesi (TL/kişi)
yf	günlük kullanılan yakıt fiyatı (TL/gün)
bas	saatte bakımı yapılan armatür sayısı
$t_ç$	günlük çalışma saati (h)

LED'li yol aydınlatması tesisatlarının yaygın kullanımı, armatür etkinlik faktörlerinin daha da yükselmesi ve armatür satın alma maliyetlerinin düşmesi ile gerçekleştirilecektir.

- | | |
|--------------------------------------|--------------------------------|
| • LED'lerin ekonomik ömrü | 50 000 saat ??? |
| • günlük kullanım süresi de ortalama | 10 saat |
| • hesap periyodu | 13 yıl |
| • tesisat maliyetleri | Güncel fiyatlar |
| • konvansiyonel armatürler | 500 TL |
| • YBSB lambalar | 20 TL |
| • SDMH lambalar | 65 TL |
| • LED'li armatür | 500 TL ~ 3000 TL |
| • etkinlik faktörü | 85.4; 90; 100; 110 ve 120 lm/W |
| • yıllık faiz oranı | %10 |
| • enflasyon oranı | %8 |

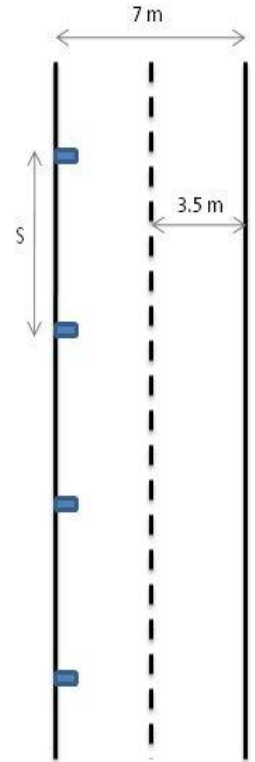
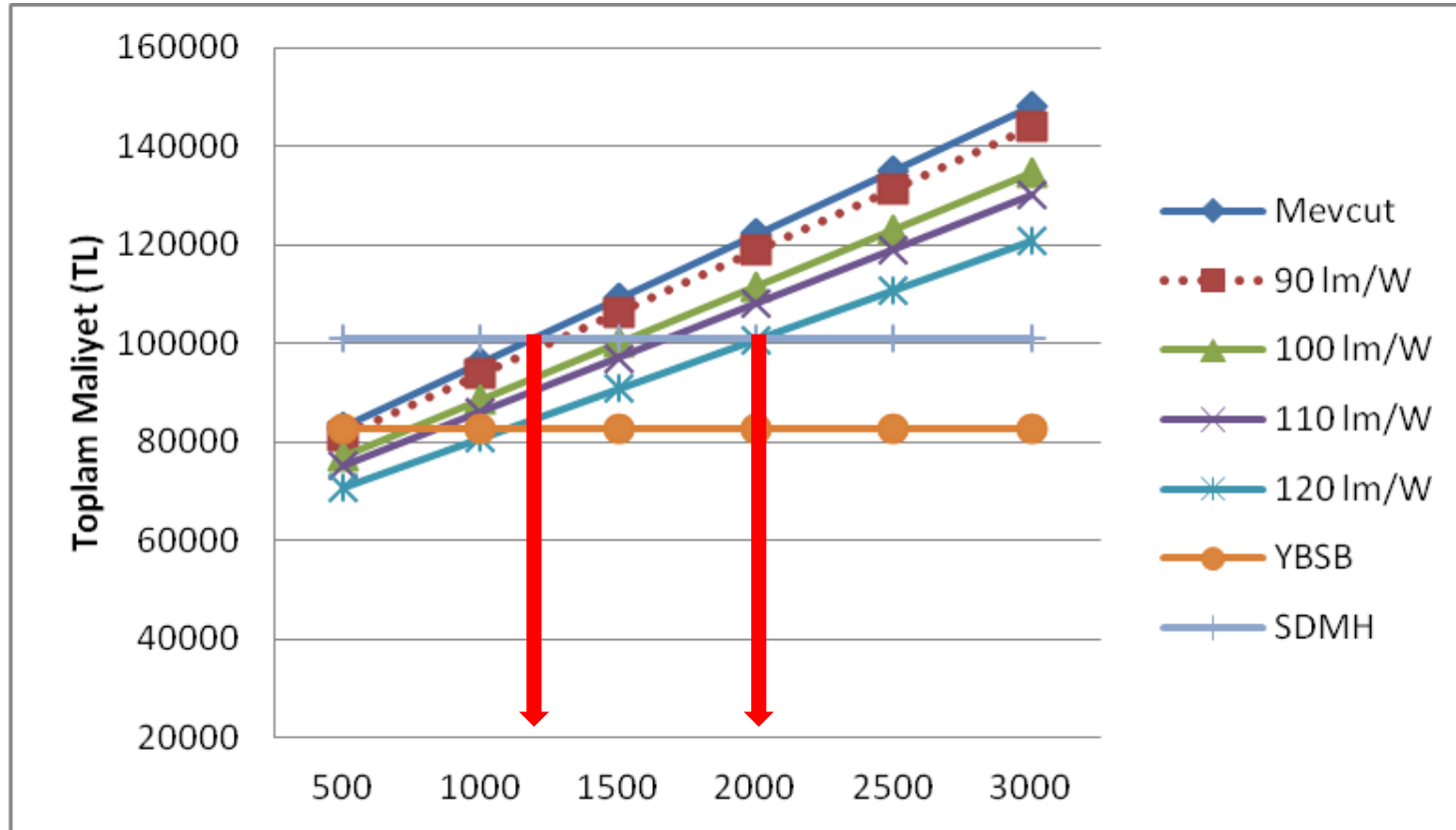
YBSBL'lı tesisat ile LED'li tesisatın karşılaştırılması



LED'li Armatür Maliyeti (TL)

M3: Soldan tek taraflı düzenek

SDMHL'lı tesisat ile LED'li tesisatın karşılaştırılması



LED'li Armatür Maliyeti (TL)

M3: Soldan tek taraflı düzenek

- Çok güncel bir konu ve büyük enerji tasarrufları sağlandığı gibi açıklamaların sıklıkla yapılıyor olmasına rağmen, karşılaştırmaları ulusal ve uluslararası standartlara göre yapılmış LED'li yol aydınlatması uygulamalarına ulaşılmakta büyük sıkıntı yaşanmaktadır.
- Örneklerde genelde yol yüzeyinde sağlanan ortalama parıltı düzeyi değerlerinin, değiştirilen eski tesisatlardan daha düşük olduğu ve değiştirilen tesisatlardaki eski armatürlerin artık işlevlerini yerine getiremeyen çok verimsiz sistemler oldukları gözlemlenmektedir.
- Dikkate alınabilecek projelerin çoğu, Amerika Birleşik Devletleri'nin değişik eyaletlerinde gerçekleştirilmiş, Amerikan Enerji Dairesi (DOE – Department of Energy) tarafından yönlendirilen ve takip edilen projelerdir .

Kaynaklar

Illinois Center for Transportation "*LED Roadway Lighting Volume 1: Background Information*", Ekim 2012

IOWA Association of Municipal Utilities "*LED Street Lighting: A Handbook for Small Communities*", Temmuz 2012

USA LED'li Yol Aydınlatması Uygulamaları

Raleigh – (North Carolina, ABD), Ekim 2008

- 9 adet 250W YBSBL'li → 9 adet 167W LED'li (Retrofit proje)
- YBSBL'li Armatür : 70 \$, LED'li Armatür: 485 \$
 - LED'li armatürler takıldıktan sonra yol üzerindeki aydınlık düzeyi %51, kaldırımlardaki aydınlık düzeyi ise %8 oranında azalmıştır.
 - LED'li armatürler sokaktaki toplam aydınlık düzeyini %43 oranında düşürmüştür.
 - Tesisatın toplam kurulu gücü %42 azalmıştır.
 - Aydınlık düzeyi düşmesine rağmen, LED'li armatürlerin yüksek renk sıcaklığı (soğuk görünüm) ve yüksek renksel geriverim endeksi nedeniyle görülebilirliğin arttığı ve renklerin daha iyi seçildiği ifade edilmektedir.



USA LED'li Yol Aydınlatması Uygulamaları

Oakland Uluslararası Havalimanı (ABD), 2008

- Test için 3 yol seçilmiştir
 - İlk yol %50 LED'li, %50 YBSBL'li armatürlerle aydınlatılmış,
 - Diğer yollar sadece LED'li ve sadece YBSBL'li armatürler ile aydınlatılmış,
 - 15 adet toplam güç tüketimleri 121W (lamba 100W + balast 21W) olan YBSBL'li armatür ile 15 adet 78W ve alternatif olarak da 58W gücünde LED'li armatürler kullanılmış,
 - Etkinlik faktörleri YBSBL'li için 60 lm/W, LED'li için 57.5 lm/W
 - Direk boyları 8.5 m olup, direk açıklıkları 33.5 m, 36.5 m ve 49 metre arasında değişmekte,
 - 58W'lık LED'li armatürlerle, 78W'lık olanlara göre %26 daha fazla enerji tasarrufu sağlandığı açıklanmaktadır.



USA LED'li Yol Aydınlatması Uygulamaları

Oakland Uluslararası Havalimanı (ABD), 2008

- Yolun sınıfı, mevcut ve daha sonra gerçekleştirilen aydınlatmalarda sağlanan aydınlatma kalite büyüklüklerinin standartlarca verilen değerlerle uyumu hakkında bir yorum yapılmamıştır.
- Bir uluslararası havaalanı için 33.5 m direk açıklıklı LED'li sistemler dışındaki düzgünlük oranları yetersiz görülmektedir.
- Etkinlik faktörleri birbirine yakın olan YBSBL ve LED'li armatürlerde gücün azalması aydınlık düzeylerinde yaklaşık aynı oranlarda düşüşlere sebep olmuştur.
- Yol üzerinde sağlanan aydınlık düzeyi değerlerinin LED'li uygulamalarda yaklaşık yarı değere inmiş olmasının sürücü ve yaya güvenlik koşulları açısından yeterliliği de sorgulanmalıdır.

Direk Açıklığı (m)	Ortalama Aydınlik Düzeyi (lx)		Minimum Aydınlik Düzeyi (lx)		Ortalama Düzgünlük	
	121W YBSBL	58W LED	121W YBSBL	58W LED	121W YBSBL	58W LED
33.5	10.76	5.38	2.05	2.05	0.19	0.38
36.5	8.61	5.17	0.97	0.97	0.11	0.19
49	5.06	3.44	0	0	0	0

USA LED'li Yol Aydınlatması Uygulamaları

Minneapolis I-35W Köprüsü (ABD), 2009

- 20 adet 291W'lık YBSBL'li armatür 4 adet 289W ve 16 adet 244W LED'li armatür ile değiştirilmiştir. YBSBL'li armatürün yıllık toplam elektrik enerjisi tüketimi 25465 kWh iken, LED'li sistem ile harcanan yıllık toplam enerji miktarı 22163 kWh'dir.
- Aydınlatma kalitesi hakkında fazla bilgi verilmemiş olmasına rağmen, bu projede aydınlatmanın standartlara uygun değerlerde gerçekleştirilmeye çalışıldığı anlaşılmaktadır.
- Enerji tasarruf oranı : %9
- Geri ödeme süresi : 55 yıl

Armatür	Adet	Armatür Gücü [W]	Armatür Etkinlik Faktörü [lm/W]	Toplam Kurulu Güç [W]	Yıllık Çalışma Saati [h]	Yıllık Enerji Tüketimi [kWh]
250W YBSBL	20	291	71	5814	4380	25465
289W LED	4	289	65	1156	4380	5063
244W LED	16	244	67	3904	4380	17100

USA LED'li Yol Aydınlatması Uygulamaları

Lija Port, Portland (ABD), 2009

- Sağlanan aydınlık düzeylerinin yeterliliğinin sorgulanması gerekmektedir.
- Geri ödeme süresi : 7.6 yıl

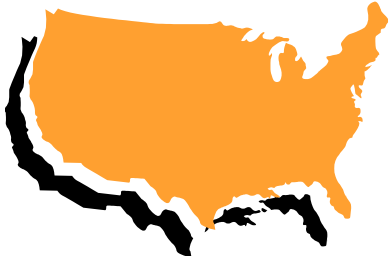
Armatür	Adet	Armatür Gücü [W]	Armatür Etkinlik Faktörü [lm/W]	Toplam Kurulu Güç [W]	Yıllık Çalışma Saati [h]	Yıllık Enerji Tüketimi [kWh]
100W YBSBL	8	120	56	960	4380	4205
53W LED	8	53	71	426	4380	1866

	100W YBSBL	53W LED
Maksimum Aydınlık Düzeyi	23.68 lx	5.38 lx
Minimum Aydınlık Düzeyi	2.15 lx	1.08 lx
Ortalama Aydınlık Düzeyi	8.61 lx	3.23 lx
Ortalama Düzgünlük	0.25	0.33

Dünyadan LED'li Yol Aydınlatması Uygulamaları

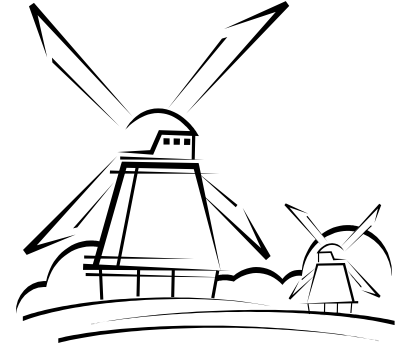
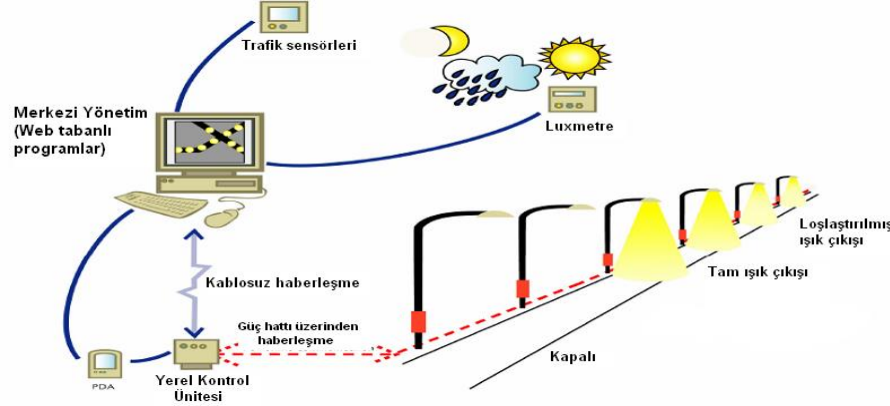
Iowa Eyaleti (ABD), 2011-2012

- Hükümetin tesis maliyetinin %50'sini hibe olarak verme kararı üzerine, Ekim 2012 yılında yayınlanan rapora göre 2011 ve 2012 yıllarında 9 şehirde toplam 2565 sokak aydınlatma armatürü LED'li olanlarla değiştirilmiştir
- Bu uygulamalarla, yıllık 1185720 kWh elektrik enerjisi tasarrufu elde edildiği, bu değer eski tüketimin %50'sine karşılık geldiği açıklanmaktadır.
- Raporlarda uygulamaların önceki ve sonraki aydınlatma kalite büyüklükleri hakkında bilgi bulunmamaktadır.



Avrupa'dan LED'li Yol Aydınlatması Uygulamaları Haarlemmermeer (Hollanda)

- 9 metre yükseklikli direklerdeki 100W YBSBL'li armatürler, 75W LED'li armatürlerle değiştirilmiştir.
- Tesisat yanmaya başladıktan sonra saat 19.00'a kadar tam ışık akısında çalışmakta, daha sonra ışık akıları 19.00 – 23.00 arası %10, 23.00 – 06.00 arası da %30 oranında loşlaştırılmaktadır. Sabah 6.00'dan sönene kadar yine tam ışık akısında çalışmaktadır.
- Yolun geometrisi ve aydınlatma kalitesi hakkında bilgiye ulaşamayan uygulamada, enerji tasarruf oranının %52 olduğu ve basit geri ödeme süresinin de 6.8 yıl olarak hesaplandığı açıklanmaktadır.



Sağlanacak enerji tasarruf oranını arttırarak, projelerin uygulanabilirliğini kolaylaştırmak için genelde otomasyon sistemleri ile entegre tesisatların yapılması hedeflenmektedir.

Avrupa'dan LED'li Yol Aydınlatması Uygulamaları

Espoo, Finlandiya – Aalto Üniversitesi, 2011

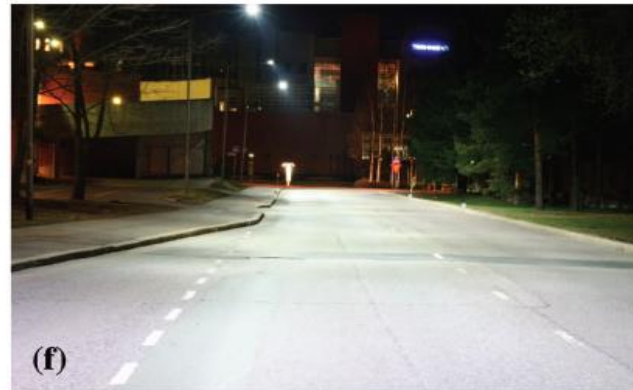
- Mevcut toplam 16 adet YBSBL'li armatürün yerine 4'er tane olmak üzere 4 farklı tip LED'li armatür kullanılmıştır.

Armatür	Armatür Gücü (Ölçülmüş) [W]	Armatür Etkinlik Faktörü [lm/W]	Renk Sıcaklığı [K]	Renksel Geriverim İndisi (Ra)
YBSBL'li Armatür	143	35	1750	25
LED Armatür A	108	59	3470	84
LED Armatür B	133	40	3220	71
LED Armatür C	140	57	6660	82
LED Armatür D	110	58	6150	70

- Deney amaçlı kullanılan yol, herbiri 3.5 m genişlikli 2 şeritli ve 2.5 m genişlikte kaldırımı olan 465 metre uzunluğunda bir yoldur.
- Yükseklikleri 9.5 m olan direklerin arasındaki mesafeler 22 m ila 33 m arasında değişmektedir.
- Finlandiya'da yol aydınlatması standartları CIE 115 no'lu yayını esas almakta ve test yolu da M4 yol aydınlatma sınıfına girmektedir.

Avrupa'dan LED'li Yol Aydınlatması Uygulamaları

Espoo, Finlandiya – Aalto Üniversitesi, 2011



Avrupa'dan LED'li Yol Aydınlatması Uygulamaları

Espoo, Finlandiya – Aalto Üniversitesi, 2011

Proje süresince ölçülen aydınlatma kalite kriterleri

Armatür	$L_{ave} (\geq 0.75 \text{ cd/m}^2)$		$U_0 (\geq 0.4)$		$U_1 (\geq 0.4)$		$TI (\leq 15\%)$
YBSBL Armatür	0.6		0.5		0.5		16
	Nisan	Eylül	Nisan	Eylül	Nisan	Eylül	
LED Armatür A	0.9	0.7	0.6	0.5	0.5	0.3	8
LED Armatür B	1.0	0.8	0.5	0.3	0.5	0.6	8
LED Armatür C	1.2	1.1	0.2	0.2	0.7	0.5	7
LED Armatür D	2.0	2.0	0.4	0.4	0.4	0.3	10

LED'li armatürlerin km başına güç tüketimlerinin YBSBL'li armatürler ile karşılaştırılması

Armatür	P/km [%]
LED Armatür A	%89
LED Armatür B	%115
LED Armatür C	%83
LED Armatür D	%51

Enerji Tasarrufu : %49 ; YBSBL'li armatür 35 lm/W; eski armatürler yerine yeni teknoloji YBSBL'li armatür takıldığında sonuçlar değişecektir.

Dünyadan LED'li Yol Aydınlatması Uygulamaları Değerlendirme

- Ulusal ve uluslararası standartlara göre yapılmış LED'li yol aydınlatması uygulamalarına ulaşılmakta büyük sıkıntı yaşanmaktadır.
- Örneklerde genelde yol yüzeyinde sağlanan ortalama parıltı ve/veya aydınlık düzeyi değerlerinin, değiştirilen eski tesisatlardan daha düşük olduğu görülmektedir.
- Değiştirilen tesisatlardaki eski armatürlerin artık işlevlerini yerine getiremeyen çok verimsiz sistemler oldukları gözlemlenmektedir.
- Bilgi birikimi ve deneyim henüz yeterli ve tutarlı düzeyde olmamasına rağmen, LED ışık kaynaklarının mavi radyasyon yoğun ışınları altında mezopik görme koşullarına dayanılarak, standartlarda önerilen kalite değerlerinin düşürüldüğü görülmektedir.
- Karşılaştırmalarda, genelde YBSBL'li armatürlerin verimlerinin olası değerlerden düşük olduğu görülmektedir. Verimsiz YBSBL'li tesisat yerine LED'li sistem değil de, verimli YBSBL'li sistem kullanıldığında sonucun LED'e göre ne kadar farklı olacağı sorgulanmalıdır.

*LED’li armatürler mevcut sistemler yerine kullanılırken, ilk dikkat edilmesi gereken kriter, güvenlik koşulları gereği yol sınıflarında sağlanması **gereken aydınlatma kalite büyüklüklerinin** gerçekleştiriliyor olmasıdır. Karşılaştırmalar yapılırken, baz alınan sistemler YBSBL’li armatürler grubunda teknolojik olarak erişilebilir **en verimli** tesisatlar olmalıdır.*

Proje Karşılaştırma Kriterleri

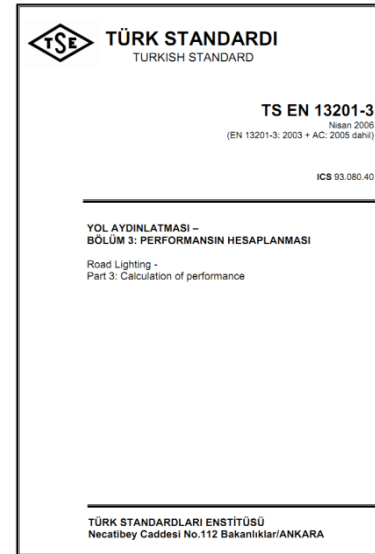
1. Temel yaklaşım mevcut sistemdeki aydınlatma kalitesinin yeni sistemde aynı şekilde yaratılması ve yolda sınıfına uygun uluslararası standartlarca önerilen aydınlatma kalite kriterlerinin sağlanması olmalıdır.
2. Ölçümlere başlanmadan önce, iki farklı tesisatın eşit koşullarda doğru karşılaştırılabilmesi için, mevcut yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların ekonomik ömürlerini tamamlamış ve dolayısıyla toplam ışık akısının azalmış olması riski düşünülerek, tesisattaki tüm yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar yenileri ile değiştirilmelidir. Mevcut tesisattaki lambalar, TEDAŞ şartnamesinde belirtilen yüksek verimli şeffaf tüp şeklinde yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba olmalıdır.

3. Projeye başlamadan önce mevcut yolda ve proje sonlandıktan sonra da yeni tesisatta, yol üzerinde parlıltı ve aydınlık düzeyi ölçümleri yapılmalıdır. Bu ölçümler, CIE-140:2000 ve TSE EN 13201-3 nolu yayınlara uygun olarak yol üzerinde işaretlenmiş çok sayıda noktada, yine aynı yayınlardaki önerilere göre konumlandırılmış kalibrasyonu yapılmış lüminansmetre ve lüksmetre kullanılarak gerçekleştirilmelidir.

4. LED’li tesisatta kullanılacak LED’lerin renk sıcaklıkları 4000 K ve renksel geriverim endeksleri (CRI) de minimum 70 olmalıdır.



CIE 140 - 2000
UDC: 628.931
628.971
628.971.6
Descriptor: Artificial lighting: Design and calculation
Exterior lighting
Street lighting



Ankara İnönü Bulvarı

- Eski Tesisat : 250 W YBSBL'li Philips Traffic Vision armatürler



Yol Geometrisi : Kavşaklar arasında 3 şeritli, kavşaklara giriş-çıkışlarda 2 şeritli toplam 800 metre

Direkler arası mesafe : ~ 40 metre

Direk sayısı : 19 adet refüjde çift konsollu / 2 adet dört konsollu

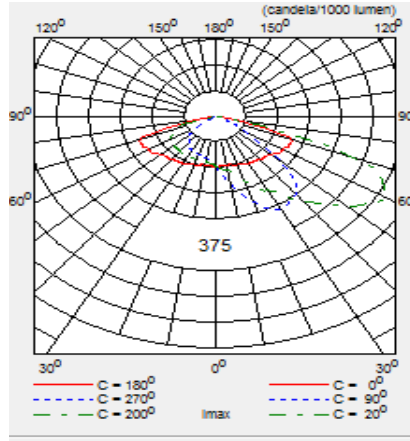
Armatür sayısı : 46 adet

Wireless Aydınlatma Kontrol Sistemi

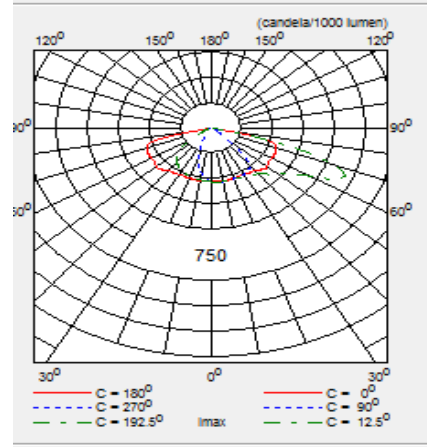
YOL AYDINLATMA SINIFI : M2 ($L_{ort} \geq 1.5 \text{ cd/m}^2$)



Eski – Yeni Armatürler



- Toplam güç tüketimi 276W
- Armatür verimi 0.79 (LOR)
- Armatür etkinlik faktörü 95 lm/W
- Renksel geriverim endeksi 25 (CRI)
- Renk sıcaklığı 2000 K



- Toplam güç tüketimleri 159W ve 169W
- Armatür verimi 0.86 (LOR)
- Armatür etkinlik faktörü 101 lm/W
- Renksel geriverim endeksi 70 (CRI)
- Renk sıcaklığı 4000 K

Ankara İnönü Bulvarı / Philips

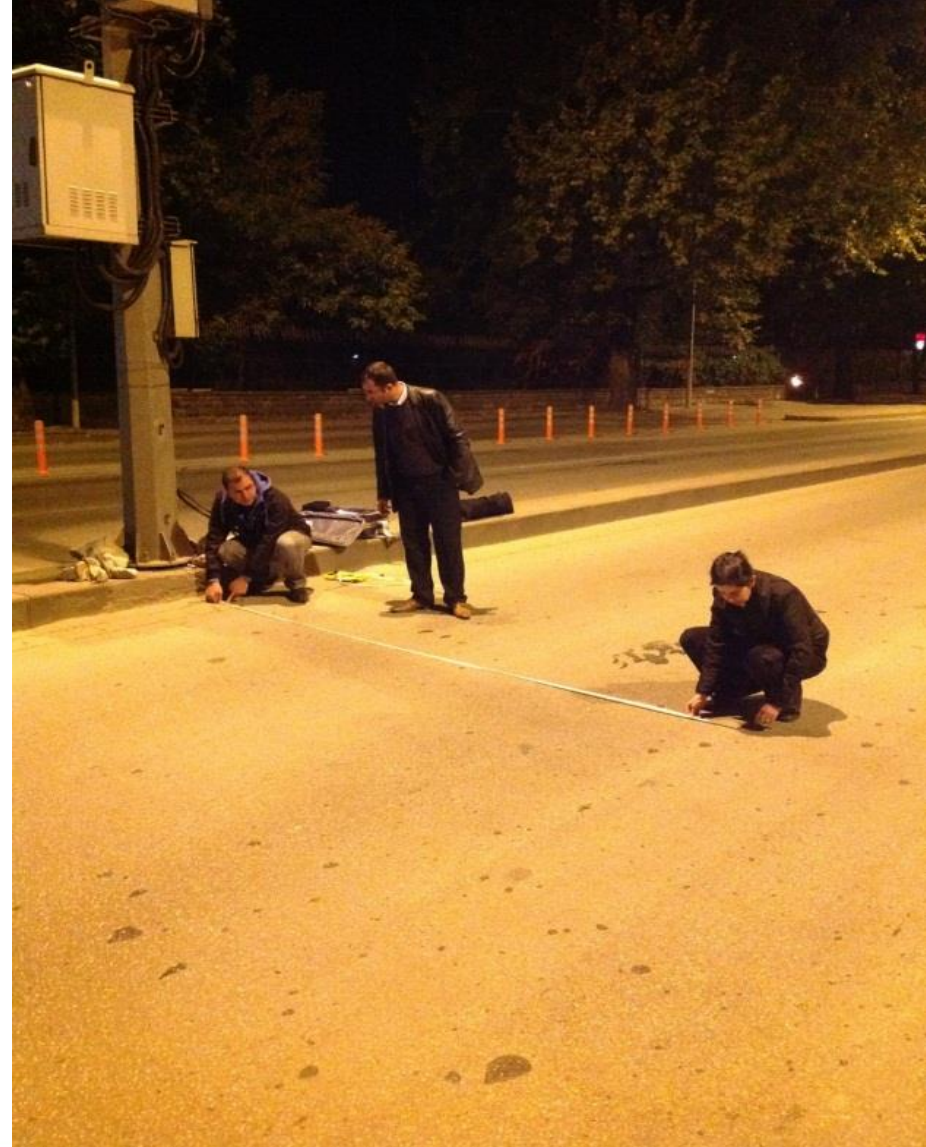
Yeni tesisat: 26 adet 159 W ve 20 adet 169 W LED'li Philips Speedstar armatür



Ölçümler



Asırlardır Çoğdaş



Saha Ölçüm Sonuçları

Sistem	Lort	U0	U1
Mevcut YBSBL'li	4,41 cd/m ²	0,41	0,58
Retrofit LED'li	7,45 cd/m ²	0,27	0,70

	L _{ort} (cd/m ²)	U _o	U _i	TI (%)	SR
M2	≥1.5	≥0.4	≥0.7	≤10	≥0.5



Ankara Dikmen Caddesi

Eski tesisat : 400 W YBSBL'lı armatürler



Ankara Dikmen caddesi / Hella

Eski Tesisat	: 400 W YBSBL'li armatürler
Yeni Tesisat	: 150 W / 12000 lm / 4300 K / 70 CRI / Hella Eco Road Line armatürler
Yol Geometrisi	: Gidiş 2 Şerit, Geliş 3 Şerit, Ortada 1.5m Refüj, 2 Taraflı Karşılıklı Düzen
Direkler Arası Mesafe	: ~ 30 metre
Armatür Sayısı	: 54
Direk Sayısı	: 54

YOL AYDINLATMA SINIFI : M2 ($L_{ort} \geq 1.5 \text{ cd/m}^2$)



Ankara Dikmen caddesi / Hella

Yeni tesisat : 150 W / 12000 lm / 4300 K Hella Eco Road Line armatürler



Ankara Muhsin Yazıcıoğlu Caddesi



Muhsin Yazıcıoğlu Caddesi / GE Lighting

Eski Tesisat : 400 W YBSBL'lı armatürler
Yeni Tesisat : 94 W / 6000 K LED'li GE R250 LED Road
Armatür Sayısı : 42
Direk Sayısı : 42

YOL AYDINLATMA SINIFI : M3 ($L_{ort} \geq 1 \text{ cd/m}^2$)



WORLDWIDE

	M3 Gereksinimleri	Hesap sonuçları
Parıltı	1 cd/m ²	1,02 cd/m ²
U0	0,4	0,48
UI	0,5	0,72
TI	<%10	%5
SR	0,5	0,51

- Diğer tüm tesisatlarda olduğu gibi LED’li yol aydınlatması tesisatlarında da mevcut standart ve şartnamelerdeki koşullar sağlanmak zorundadır.
- Sadece armatür değişimli retrofit projelerinde mevcut direk konumu veya direkler arası açıklıklar yolun kullanım amacı ve geometrisine uygun en optimum çözüm olmayabilir.
- Aydınlatma sektöründe, büyük çaplı projelerde kullanım olanağı bulacağı düşünülmektedir. LED’li yol – sokak aydınlatması armatürlerinin üretimi konusunda büyük bir istek ve atılım gözlemlenmektedir.
- Yerli armatür üreticilerimizin LED’li yol aydınlatması armatür imalatı konusunda doğru yolda verimli bir şekilde ilerleyebilmeleri ve önlerini görerek gerekli yatırımları yapabilmeleri için taslak halinde olan TEDAŞ-ARGEP/2010-057.A “LED’Lİ Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi”nin yeniden ele alınıp düzenlenmesi gerekmektedir.

- LED'li yol aydınlatması armatürlerinin etkinlik faktörleri (lm/W) YBSBL'li olanların aksine, güçleri arttıkça azalmaktadır. LED teknolojisinde gelinen son durum henüz M1 aydınlatma sınıfı otoyollar için maliyet etkin çözümlere ulaşılmasına olanak tanımamaktadır.
- LED'li yol aydınlatması projelerinde tesis maliyetini uygun sürelerde geri ödeyebilecek enerji tasarruf değerlerine ulaşılabilmesi için, otomasyon sistemleri ile entegrasyon önerilmektedir.
- Otomasyonlu yol aydınlatmalarında, güvenlik koşulları dikkate alınarak doğru strateji / senaryolar uygulanmak zorundadır.
- **Mevcut yol aydınlatma tesisatlarındaki armatürlerin LED'li olanlar ile değiştirilmesi, açıklandığı gibi % 80 enerji tasarrufu anlamına gelmemektedir.**

İlginize Teşekkürler...

İTÜ Enerji Enstitüsü
Enerji Planlaması ve Yönetimi A.B.D.
Prof. Dr. Sermin ONAYGİL
e-posta: onaygil@itu.edu.tr

itü



ATMK
AYDINLATMA TÜRK MİLLİ KOMİTESİ

