

Yollarda LED Dönüşümü: *Verimlilik ve Akıllılık*

PROF. DR. SERMİN ONAYGİL

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ENERJİ ENSTİTÜSÜ –
ENERJİ PLANLAMASI VE YÖNETİMİ ANA BİLİM DALI BAŞKANI
AYDINLATMA TÜRK MİLLÎ KOMİTESİ BAŞKANI

Yasal Düzenlemeler ve Süreç



14/03/2013 tarihli 6446 RG Elektrik Piyasası Kanunu	• Elektrik Dağıtım Şirketlerinin Sorumluluğu
27/07/2013 tarihli 28720 nolu Genel Aydınlatma Yönetmeliği	• Genel Aydınlatma Kapsamı • Aydınlatma Komisyonları • Dağıtım Şirketleri Yatırımları
14/11/2014 tarihli ve 7402 Bakan olurlu Genel Aydınlatma Kapsamında LED Armatürlerin Kullanımına İlişkin Usul ve Esaslar	• Yeni ve Mevcut Tesisatlar • Aydınlatma Dönüşüm Planları • Yıllık Uygulama Raporları

Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2017 – 2013)

Eylemin Kodu ve Adı: E7-**Genel Aydınlatmada Enerji Verimliliğinin Artırılması**

Amaç: ***Genel aydınlatmada kullanılan armatürlerin verimli armatürlerle değiştirilmesidir.***

Yürütülecek Faaliyetler:

- Sodyum buharlı armatürlerin **LED dönüşümünün**, fayda/maliyet, süre ve verimlilik olarak değerlendirilerek planlanmasına yönelik çalışmalar yapılacak, ayrıca LED aydınlatmaya yönelik usul esaslar da gerekli revizyonlar yapılacaktır. ETKB, TEDAŞ, EPDK, Dağıtım Şirketleri, ÇŞB, Belediyeler, KGM vb. kurumlar detay dönüşüm programlarını oluşturacaktır.
- Yenilikçi teknolojilerin takip edilerek mevzuata entegrasyonu sağlanacaktır.
- Enerji tasarruf potansiyelinden azami biçimde yararlanılması amacıyla kontrol ve izleme faaliyetleri yürütülecek, EVD'lerle enerji tasarrufları ile bağlantılı enerji performans sözleşmelerinin uygulanması özendirilecektir.
- Plan gerçekleştirmeleri ve enerji tasarruf doğrulamaları takip edilecektir.
- Verimli aydınlatmada yerli tasarım ve üretim yetkinliklerinin geliştirilmesi özendirilecektir

Yol Aydınlatması

Motorlu araç yolları aydınlatması

- Sürücü ihtiyaçları
- Sürücünün çevre görüşü



Yaya/yerleşim yolları aydınlatması

- Sürücü görüşü
- Yaya görüşü



Yol Aydınlatma Sınıfları – TS EN 13201-2

Yol Aydınlatma Sınıfı	*Kuru yol yüzeyi şartlarında taşıt yol yüzeyinin parlıltısı			Eşik Artışı (Kamaşma Sınırlaması)	Kenar Aydınlik Düzeyi Oranı
	$\bar{L}^{**}$ [sürekli sağlanması gereken en küçük ortalama değer] cd/m ²	U_0 [en küçük değer]	U_l [en küçük değer]	f_{Tl} [en büyük değer] %	R_{El} [en küçük değer] %
M1	2,00	0,40	0,70	10	0,35
M2	1,50	0,40	0,70	10	0,35
M3	1,00	0,40	0,60	15	0,30
M4	0,75	0,40	0,60	15	0,30
M5	0,50	0,35	0,40	15	0,30
M6	0,30	0,35	0,40	20	0,30
* Aydınlatma sınıfı kriterleri kuru yol yüzeyi şartlarına göre seçilmiştir.					
** Ortalama yol parlıltı düzeyinin değeri, tabloda verilen en küçük değerin en fazla 1,2 katı olacaktır.					

LED Mevzuatı – Son Durum

LED Armatür Şartnamesi

LED’li Yol Aydınlatma Tasarımına İlişkin Usul ve Esaslar

LED’li Yol Aydınlatma Armatürlerinin Onaylanmasına ve Kullanımına İlişkin Uygulama Talimatı (Hazırlanıyor)

TEDAŞ - MLZ/2010-057.C

TÜRKİYE ELEKTRİK DAĞITIM A.Ş.
STRATEJİ GELİŞTİRME DAİRE BAŞKANLIĞI

LED IŞIK KAYNAKLI YOL AYDINLATMA ARMATÜRLERİ
TEKNİK ŞARTNAMESİ

Eylül – 2010
Revize Aralık 2013
Revize Mart 2015
Revize Mayıs 2018
Revize Mart 2019

LED’Lİ YOL AYDINLATMA TASARIMINA İLİŞKİN USUL VE ESASLAR

BİRİNCİ BÖLÜM

Amaç, Kapsam, Dayanak, Tanımlar ve Kısaltmalar



BEŞİNCİ BÖLÜM

Performans Kriteri ve Dimleme, Yürürlük, Yürütme

Değerlendirme Kriterleri

*LED dönüşüm programlarında **LEVO**, **LUVO**, **YGDS** ve **Performans Kriteri** dikkate alınarak sürecin yönetilmesi planlanmaktadır.*

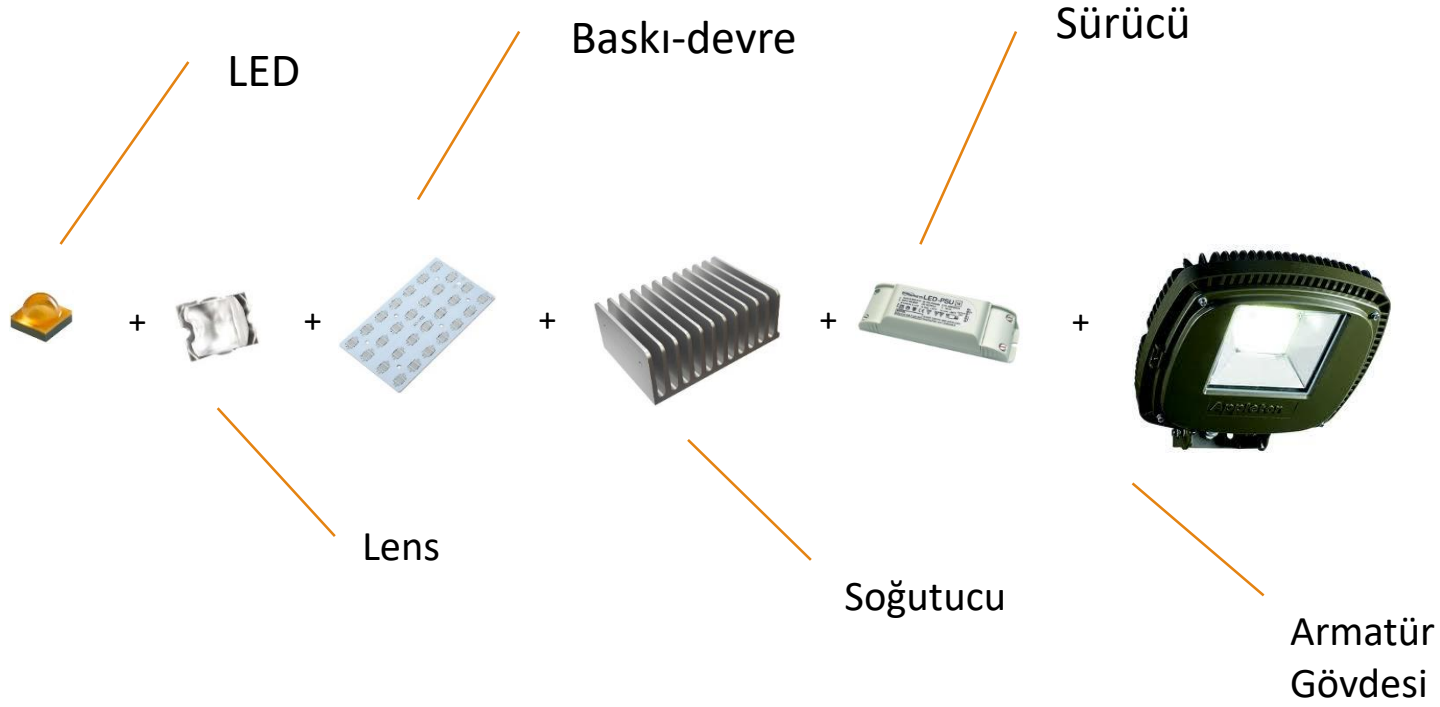
LED Verimlilik Oranı (LEVO): LED dönüşüm uygulamalarında, herhangi bir tesis için, en düşük aydınlatma kriterlerinin sağlandığı YBSBL'lı armatürlerle hesaplanan W/km değeri ile aynı tesisin LED armatür kullanılarak en düşük aydınlatma kriterlerinin sağlandığı durumda hesaplanan W/km değeri arasındaki güç tasarruf oranıdır .

LED Uygulama Verimlilik Oranı (LUVO): LED dönüşüm uygulamalarında, herhangi bir tesis için, mevcut armatürlerle hesaplanan W/km değeri ile aynı tesisin LED armatür kullanılarak en düşük aydınlatma kriterlerinin sağlandığı durumda hesaplanan W/km değeri arasındaki güç tasarruf oranıdır.

Yatırım Geri Dönüş Süresi (YGDS): LED dönüşümünün uygulanacağı her bir tesis için gerekli yatırım tutarının LED dönüşümünün uygulanması sonucunda tasarruf edilecek yıllık enerji bedeline oranı ile bulunan süredir ve tasarruf edilecek yıllık enerji bedelinin hesaplanmasında LED Uygulama Verimlilik Oranı esas alınır.

Performans Kriteri: Belirli bir yol profili ve temel kıstaslar baz alınarak bir armatür için hesaplanan W/km cinsinden değerdir.

LED – Light Emitting Diodes



LED ARMATÜR

60 000 Saat Ömür

%40 Enerji Tasarrufu

6 yıl Geri Ödeme Süresi

Yol Aydınlatması Armatür Sınıfları (LED'li Yol Aydınlatma Tasarımına İlişkin Usul ve Esaslar)

Armatür Sınıfı	Sınıf 1	Sınıf 2	Sınıf 3	Sınıf 4	Sınıf 5	Sınıf 6	Sınıf 7	Sınıf 8	Sınıf 9	Sınıf 10	Sınıf 11	Sınıf 12	Sınıf 13	Sınıf 14	Sınıf 15	Sınıf 16	Sınıf 17
Aydınlatma Düzenekleri	Refüjden veya Karşılıklı veya Kaydırılmış	Refüjden veya Karşılıklı veya Kaydırılmış	Refüjden veya Karşılıklı veya Kaydırılmış	Refüjden veya Karşılıklı veya Kaydırılmış	Refüjden veya Karşılıklı veya Kaydırılmış	Refüjden veya Karşılıklı veya Kaydırılmış	Sağ/Sol Tek taraflı	Refüjden veya Karşılıklı veya Kaydırılmış	Refüjden veya Karşılıklı veya Kaydırılmış	Refüjden veya Karşılıklı veya Kaydırılmış	Sağ/Sol Tek taraflı	Karşılıklı veya Kaydırılmış	Sağ/Sol Tek taraflı	Sağ/Sol Tek taraflı	Sağ/Sol Tek taraflı	Sağ/Sol Tek taraflı	Sağ/Sol Tek taraflı
Yol Aydınlatma Sınıfı	M1	M1	M1	M2	M2	M2	M2	M3	M3	M3	M3	M4	M4	M4	M5	P2	P3
Şerit Sayısı	2x4	2x3	2x2	2x4	2x3	2x2	3	2x4	2x3	2x2	3	4	3	2	2	2	1
Şerit Genişliği (m)	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Sarkma (m)	0 ila +2	0 ila +2	0 ila +2	0 ila +2	0 ila +2	0 ila +2	0 ila +2	0 ila +1	0 ila +1	0 ila +1	0 ila +1	0 ila +1	0 ila +1	0 ila +1	0 ila +1	0 ila +1	0 ila +1
Direk Boyu (m)	14 12	14 12	12 10	12 10	12 10	12 10	12 10	12 10	12 10	12 10	10	10	10	10 8	8	8 6	8 6
Refüj Genişliği Maks.(m)	3	3	3	3	3	3	-	3	3	3	-	-	-	-	-	-	-
Bakım Faktörü	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Yol Yüzeyi Sınıfı	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	-	-
Minimum Direk Açıklığı (m)	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	38	40	38	38	36	30	22
Maksimum LED Performans Kriteri (W/km)	12500	10200	7600	10400	7600	5700	4400	6600	5200	4000	3600	2900	2700	2300	1650	1450	1000

Konu Paydařları

ETKB – Enerji Verimliliği ve evre Daire Başkanlığı

TEDAş Genel Müdürlüęü

EPDK

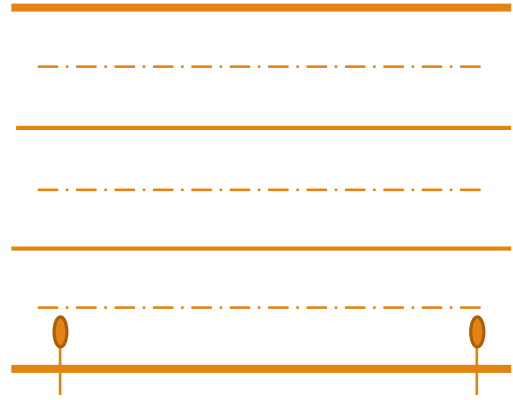
Elektrik Dağıtım şirketleri

Belediyeler ???

Armatür reticileri

Örnek Maliyet Hesabı

Performans Kriteri = 2760 W/km < 3600 W/km



Aydınlatma Sınıfı : M3
Şerit Sayısı : 3
Direkler Arası Mesafe : 43 metre
Direk Yüksekliği : 10 metre

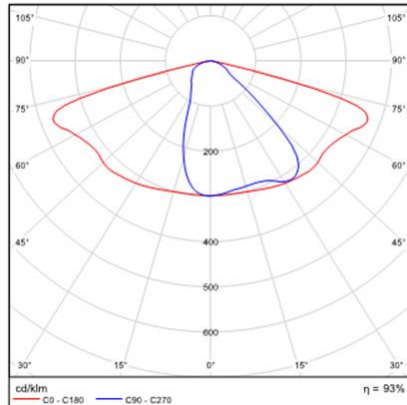
Mevcut

YBSBL Armatür
270,8W
72,4 lm/W

$$L_{ort} \leq 1,2 L_{std}$$

Alternatif

LED Armatür
120W
127,1 lm/W



Enerji Tasarrufu > %40

LED Armatür Fiyatı
1500 TL

Geri Ödeme Süresi
7,6 YIL

6 Yıl Geri Ödeme
Süresi İçin

Maksimum Armatür Fiyatı
1200 TL
e = 127,1 lm/W

veya

Armatür Etkinlik Faktörü
190,6 lm/W
Birim Fiyat = 1500 TL

Maliyet Hesabı (YBSBL'lılara göre net %40 enerji tasarrufu; YGDS = 6 yıl; $e \geq 125 \text{ lm/W}$)

Armatür Sınıfı	Sınıf 1	Sınıf 2	Sınıf 3	Sınıf 4	Sınıf 5	Sınıf 6	Sınıf 7	Sınıf 8	Sınıf 9	Sınıf 10	Sınıf 11	Sınıf 12	Sınıf 13	Sınıf 14	Sınıf 15											
Aydınlatma Düzenekleri	Refüjden veya Karşılıklı veya Kaydırılmış	Refüjden veya Karşılıklı veya Kaydırılmış	Refüjden veya Karşılıklı veya Kaydırılmış	Refüjden veya Karşılıklı veya Kaydırılmış	Refüjden veya Karşılıklı veya Kaydırılmış	Refüjden veya Karşılıklı veya Kaydırılmış	Sağ/Sol Tek taraflı	Refüjden veya Karşılıklı veya Kaydırılmış	Refüjden veya Karşılıklı veya Kaydırılmış	Refüjden veya Karşılıklı veya Kaydırılmış	Sağ/Sol Tek taraflı	Karşılıklı veya Kaydırılmış	Sağ/Sol Tek taraflı	Sağ/Sol Tek taraflı	Sağ/Sol Tek taraflı											
Yol Aydınlatma Sınıfı	M1	M1	M1	M2	M2	M2	M2	M3	M3	M3	M3	M4	M4	M4	M5											
Önerilen LED Performans Kriteri (W/km)	12500	13400	10200	12000	7600	8000	10400	10400	7600	9200	5700	5700	4400	5200	6600	7250	5200	5600	4000	4350	3600	2900	2700	2300	-	1650
Maksimum LED Armatür Fiyatı (TL)	1460,5	1440,1	1361,3	1457,2	955,5	902,1	926,6	1009,6	952,1	915,4	595,2	575,9	968,7	923,1	953,8	941,4	609,1	609,2	597,0	617,4	930,8	796,6	609,1	609,2	-	373,1
Maksimum LED Armatür Gücü [W]	260,4	257,7	242,9	260,9	165,2	150,9	157,6	173,3	165,2	158,6	95,0	91,9	163,0	157,6	165,0	161,1	100,0	100,0	95,2	98,9	156,5	131,8	100,0	100,0	-	55,0

LED dönüşüm programlarındaki yatırımların geri dönüş süreleri LED'li armatür satın alma fiyatı, enerji tasarruf oranı ve elektrik enerjisinin birim fiyatına bağlıdır.

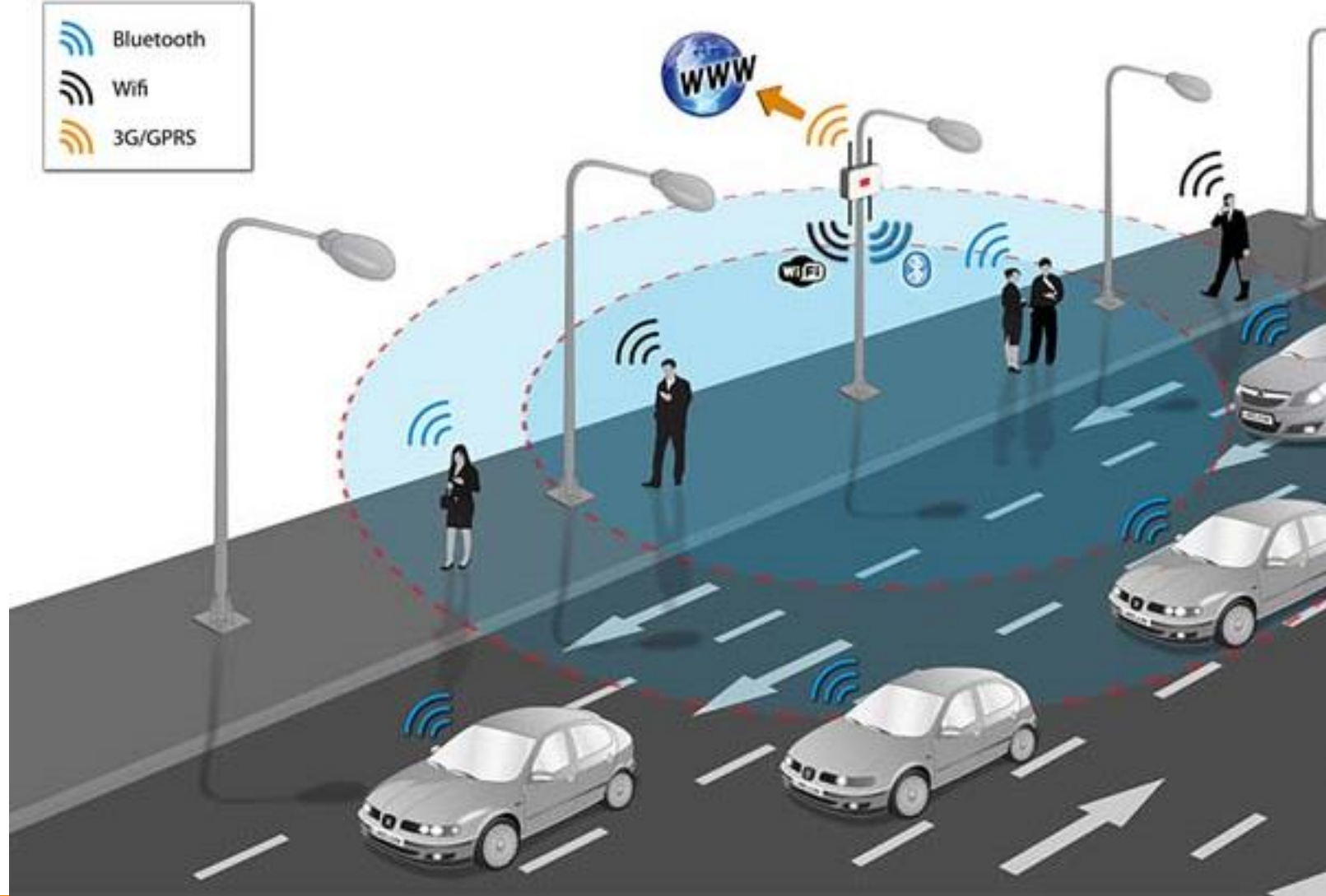
Proje Bazlı Son Karar

- ❑ LED dönüşüm programlarında koşul olan Yatırım Geri Dönüş Süresi hesaplarında, 11,5 saatlik günlük çalışma ile 60000 saat LED armatür ömrüne karşılık gelen 14 yıllık kullanım süresince elde edilecek tasarruf değerlerinin bugünkü değerlere indirildiği Yatırım Gerçek Geri Dönüş Süresi (YGGDS) yaklaşımının esas alınması önerilmektedir.
- ❑ Enerji tasarruf miktarlarının karşılaştırıldığı YBSBL'li tesisatta TS EN 13201-2 standardında verilen aydınlatma kalite kriterlerinin ortalama parıltı düzeyi 1,2 katını aşmayacak şekilde sağlanmaktadır. Dönüşüm programlarının uygulanacağı mevcut tesisatlarda gerekli parıltı düzeylerinin üstünde aydınlatmalar sağlayan yüksek güçlü tesisatlarla karşılaşılması olasılığı da yüksek olduğu için YGGDS değeri daha düşük olabilecek ve LED armatür başına ödenebilecek fiyat da yükselebilecektir.

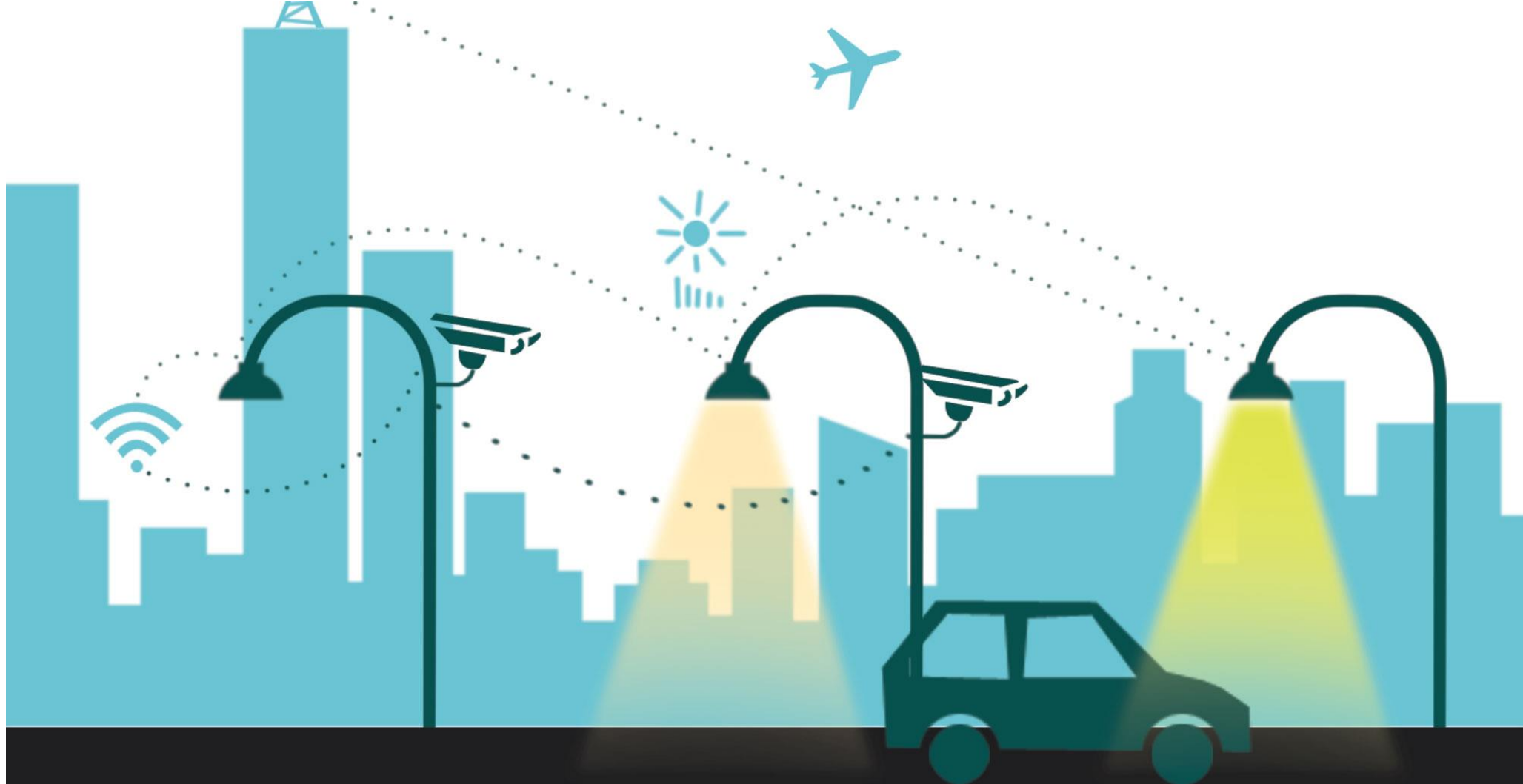
Mevcut yol aydınlatması tesisatlarının LED dönüşümlerinde ilk sınırlama olarak düşünülen Armatür Sınıflama yöntemi ile minimum koşulları sağlayan LED'li armatürler belirlendikten sonra, tesisatın gerçek durumu göz önüne alınarak proje bazlı ikinci bir karşılaştırmanın yapılması gereklidir.

Yeni projelerde LED'li tesisatların onaylanmasında proje bazlı detaylı çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Akıllı Şehir – Akıllı Yol Aydınlatması



Akıllı Yol Aydınlatması – Aydınlatma Direkleri



Yol Aydınlatması Kontrol Strateji ve Senaryoları

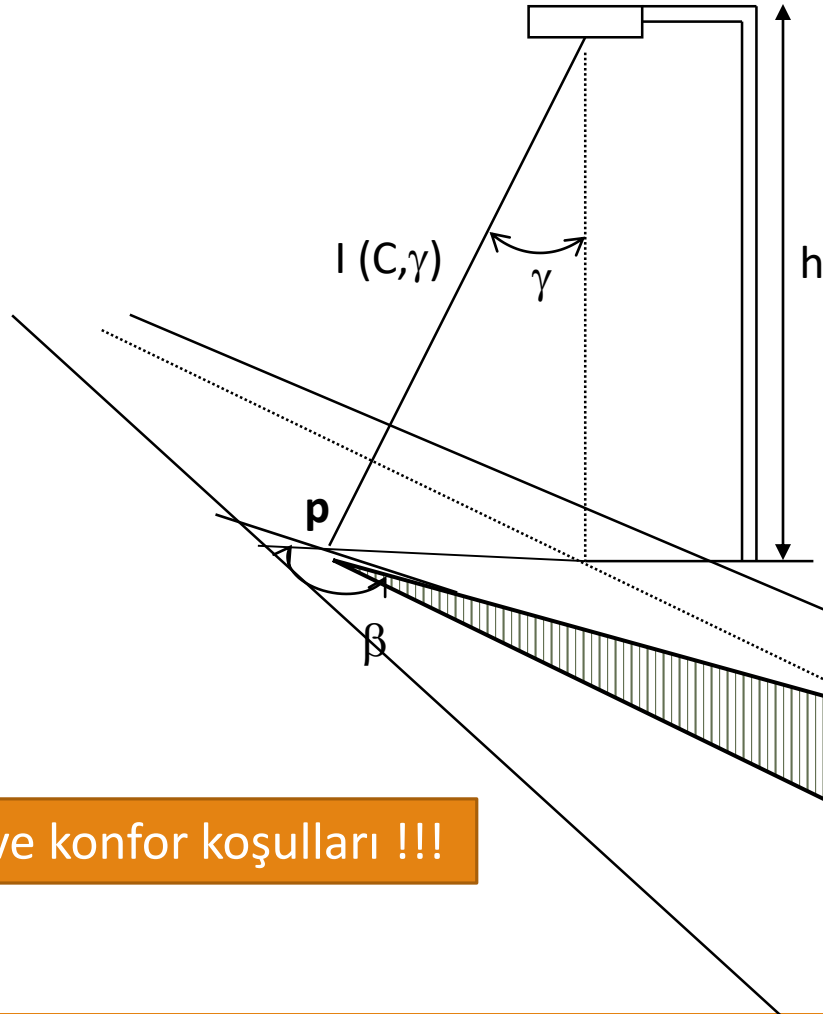
Yol aydınlatması otomasyon sistemlerinde geliştirilen kontrol stratejileri ve senaryolar incelendiğinde üç yaklaşım görülmektedir.

Zaman ayarlı
loşlaştırma,

Trafik yoğunluğuna
bağlı loşlaştırma,

Meteorolojik koşullara
bağlı loşlaştırma

Yol Aydınlatması Gerekleri



P noktasında :

$$L_p = \frac{I(C, \gamma) \cdot r \cdot \phi_L \cdot BF \cdot 10^{-4}}{1000 \cdot h^2}$$

$$L_p = \frac{I(C, \gamma) \cdot \cos^3 \gamma \cdot q(\gamma, \beta) \cdot \phi_L \cdot BF}{1000 \cdot h^2}$$

Ortalama Parıltı : L_{ort}

Grid noktalarındaki parıltıların toplamının grid nokta sayısına bölümü ile hesaplanır.

r : indirgenmiş parıltı faktörü

q : parıltı faktörü

$$r = q \cdot \cos^3 \gamma$$

BF: bakım faktörü

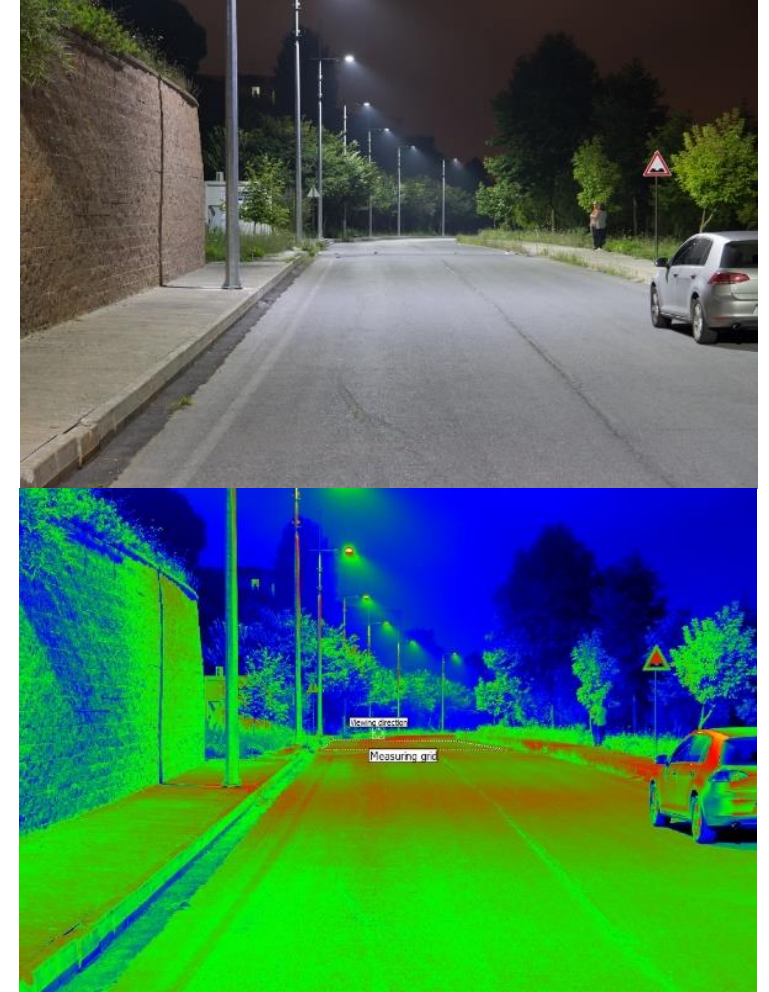
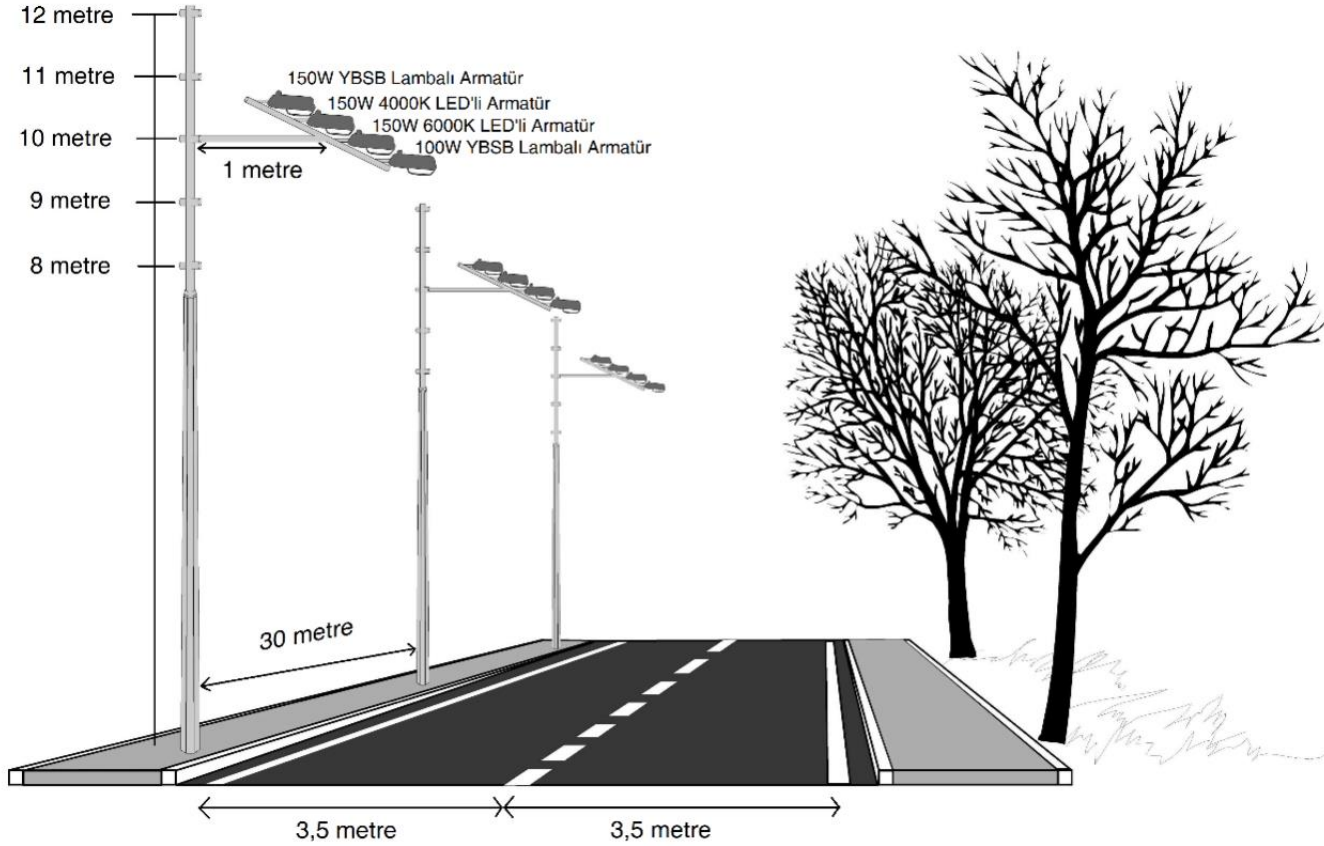
ϕ_L : lamba ışık akısı

Güvenlik ve konfor koşulları !!!

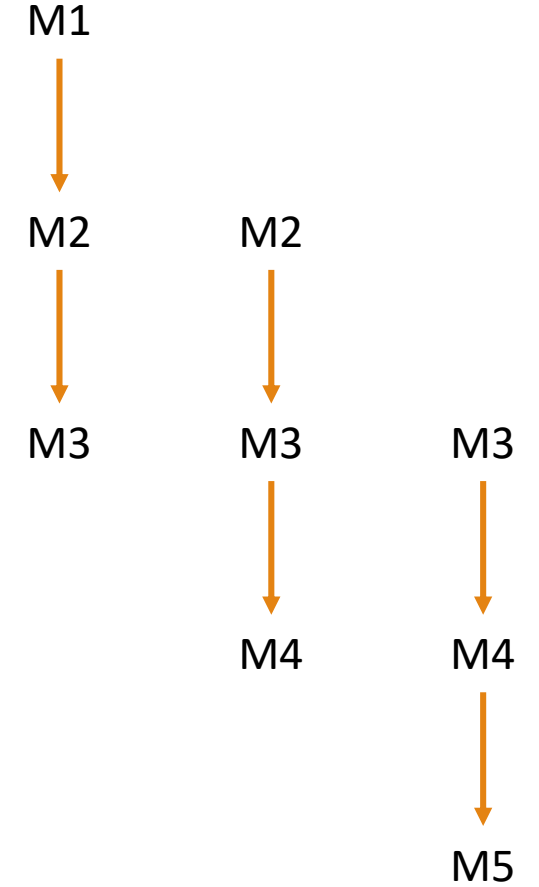
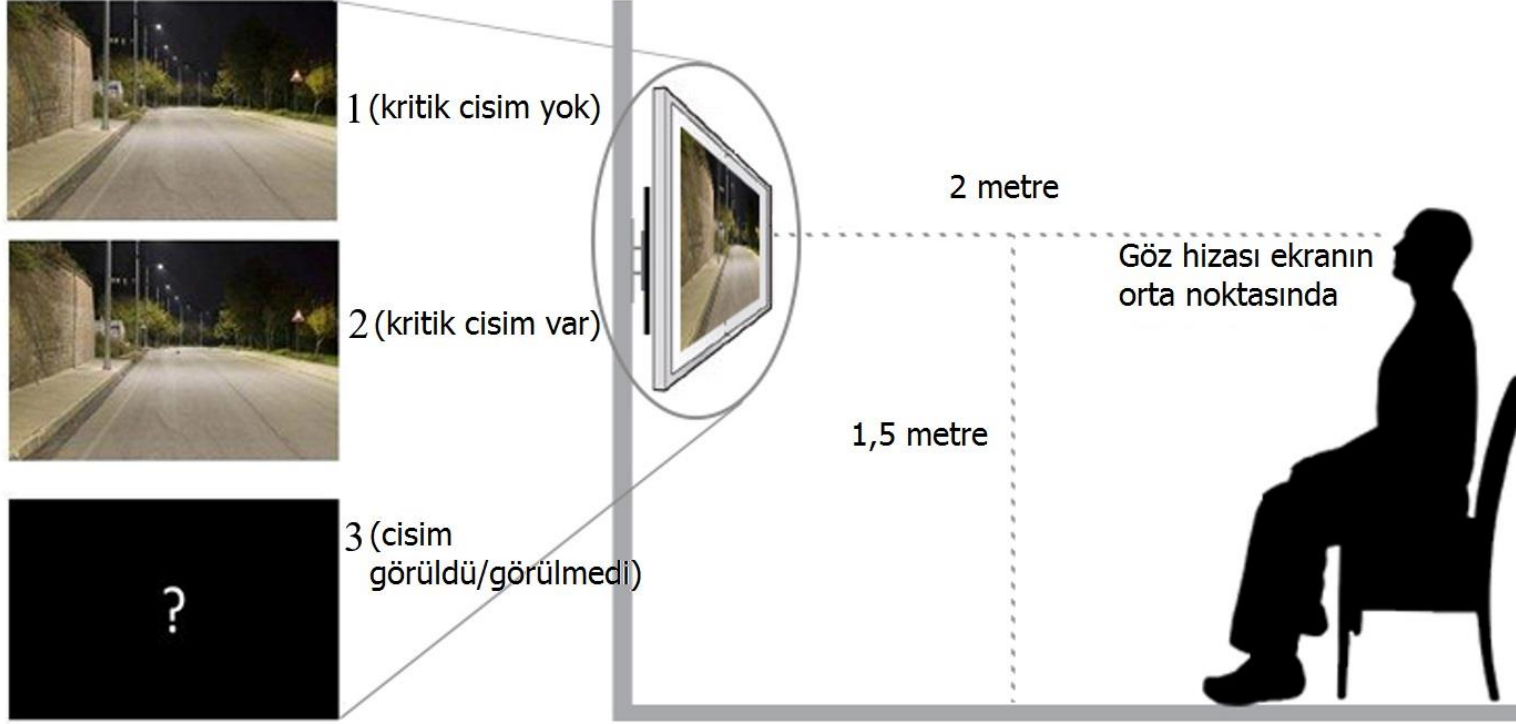
İTÜ Test Yolu – Ayazağa Kampüsü



İTÜ Test Yolu



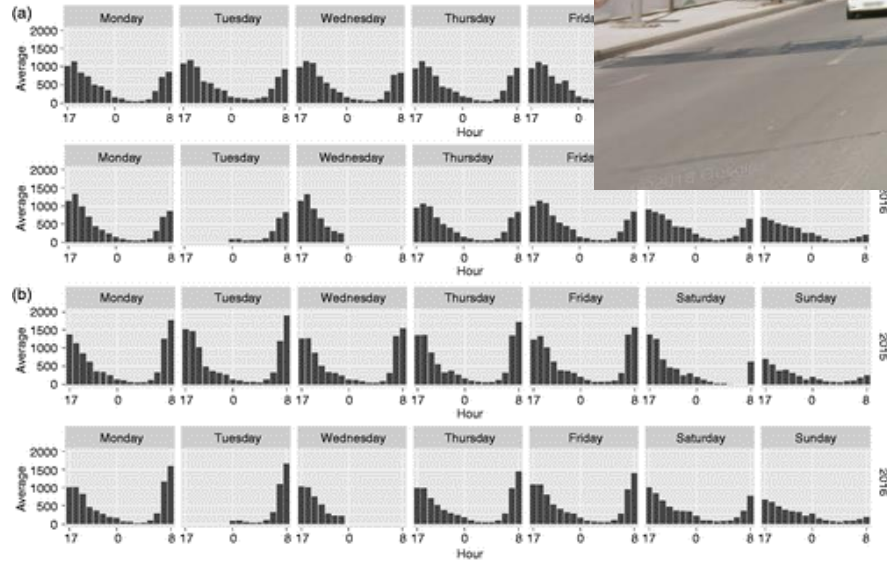
Görülebilirlik - Loşlaştırma



Yol Aydınlatma Sınıfları

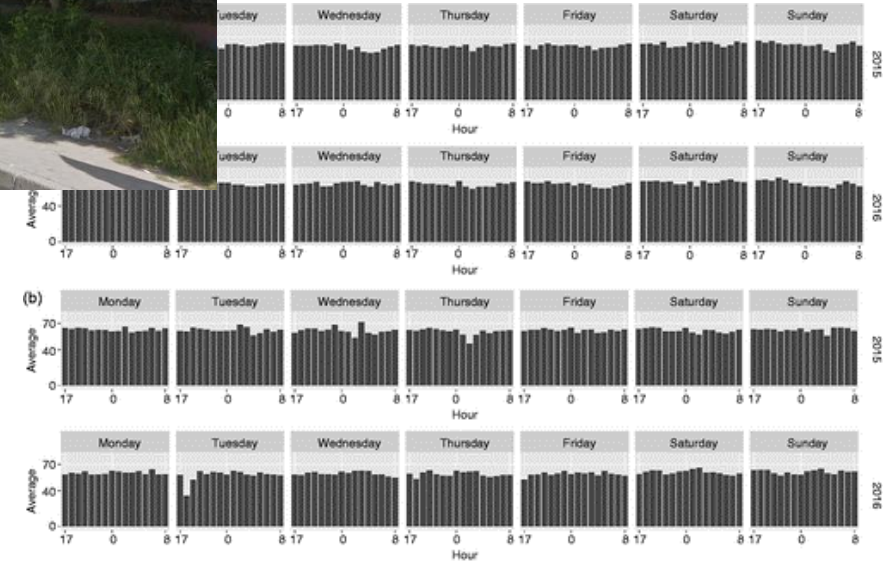
Loşlaştırma Stratejisi – Senaryosu

Ortalama Araç Sayıları

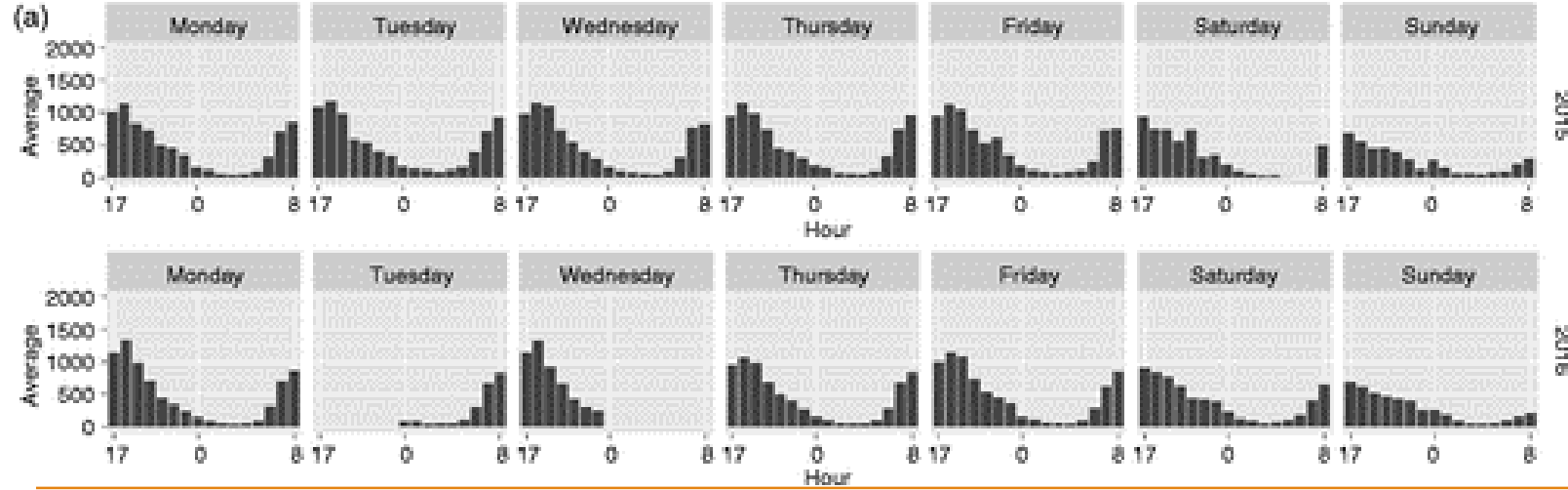


Cendere Caddesi

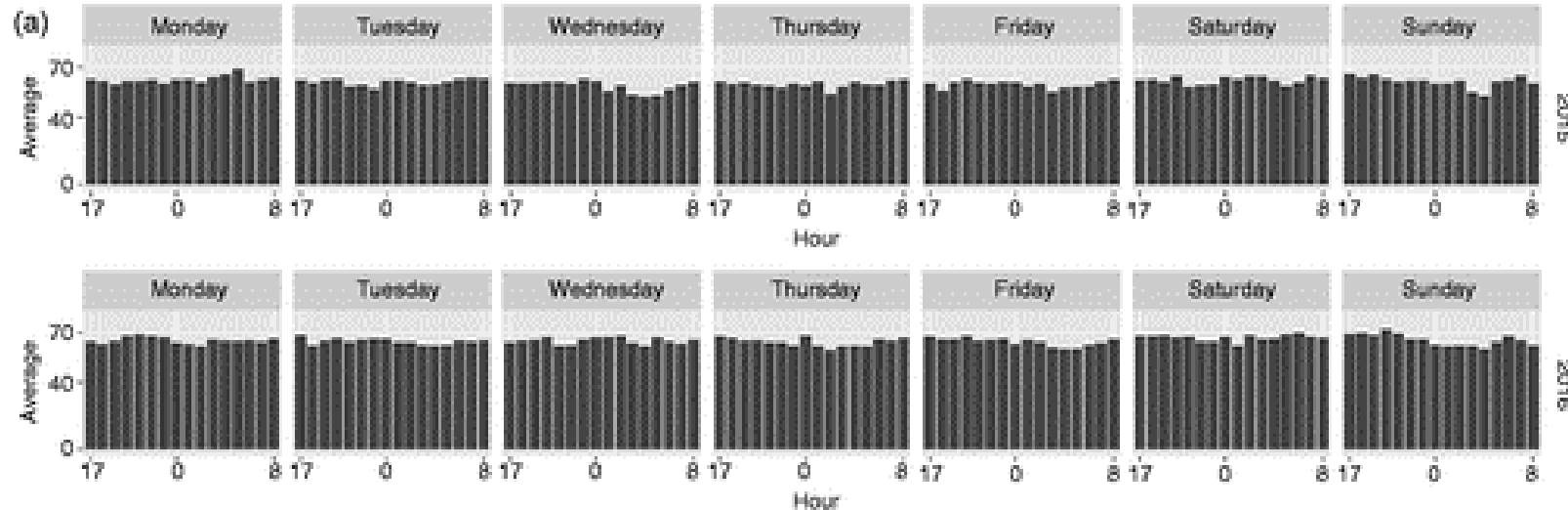
Ortalama Araç Hızları



Öğrenme Algoritmaları



Ortalama Araç Sayıları



Ortalama Araç Hızları

Yol Aydınlatma Senaryosu

Aylara Göre Araç Sayısı ve Hızları

		Eki. 2015	Kas. 2015	Ara. 2015	Oca. 2016	Şub. 2016	Mar. 2016	Nis. 2016	May. 2016	Haz. 2016	Tem. 2016	Ağu. 2016	Eyl. 2016	Eki. 2016	Kas. 2016
Araç sayısı	maks	1405	1982	1360	1540	1305	1865	1434	2093	1369	1295	1808	1279	1450	1348
	min	5	0	4	0	1	0	7	0	21	15	0	0	0	5
Araç hızı (km/h)	maks	75	104	77	92	74	85	69	117	77	74	109	60	61	65
	min	10	2	11	14	13	11	10	5	11	34	5	8	12	13

Örnek Aydınlatma Senaryosu

	4 Temmuz Pazartesi		10 Temmuz Pazar		18 Ocak Pazartesi		24 Ocak Pazar	
Saat	Aydınlatma sınıfı	Enerji tüketimi (Wh)	Aydınlatma sınıfı	Enerji tüketimi (Wh)	Aydınlatma sınıfı	Enerji tüketimi (Wh)	Aydınlatma sınıfı	Enerji tüketimi (Wh)
18					M4	50,4	M4	50,4
19					M4	50,4	M4	50,4
20					M3	69	M4	50,4
21	M5	34,6	M4	50,4	M5	34,6	M4	50,4
22	M4	50,4	M4	50,4	M5	34,6	M4	50,4
23	M4	50,4	M5	34,6	M5	34,6	M5	34,6
0	M5	34,6	M5	34,6	M5	34,6	M5	34,6
1	M3	69	M5	34,6	M5	34,6	M5	34,6
2	M3	69	M5	34,6	M5	34,6	M5	34,6
3	M5	34,6	M5	34,6	M5	34,6	M5	34,6
4	M5	34,6	M5	34,6	M5	34,6	M5	34,6
5	M5	34,6	M5	34,6	M5	34,6	M5	34,6
6	M5	34,6	M5	34,6	M5	34,6	M5	34,6
7					M5	34,6	M5	34,6
Toplam		446,4		377,6		550,4		563,4

16 Mayıs
UNESCO
tarafından
**Uluslararası
Işık Günü**
ilan edildi.



Uluslararası
Işık Günü

”Benim Işığım “

konulu fotoğraflarını sosyal medya
hesabından

#ISIKGUNU2019 ve #IDL2019

etiketleri ile paylaş ve farkındalık yarat.



İlginize teşekkürler..