

YOL AYDINLATMASI OTOMASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elektrik Müh. Burcu Büyükkınacı
(301061030)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 9 Haziran 2008

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Sermin ONAYGİL (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Doç.Dr. Nurettin UMURKAN (YTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Önder GÜLER (İTÜ)

HAZİRAN 2008

ÖNSÖZ

Öncelikle bu çalışmaya yaptığı büyük katkılar ve yakın ilgisinden dolayı değerli hocam Prof. Dr. Sermin Onaygil'e teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Çalışmada kullandığım araç sayısı bilgisini sağlayan İstanbul Büyükşehir Belediyesi Trafik Kontrol Merkezi'nden Batuhan Altun'a, maliyet hesaplamaları ve ürün fiyatları konusunda yardımcı olan Kemal Güver ve Oğuz Gülsoy'a ayrıca teşekkür ederim.

Beni her zaman destekleyen sevgili eşim Soner'e, anneme ve babama çok teşekkür ederim.

Mayıs 2008, İstanbul

Burcu Büyükkınacı

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	V
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ	1
2. YOL AYDINLATMASI İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR	3
2.1. Fotometrik Büyüklükler	3
2.1.1. Düzlemsel Açı ve Uzay Açı	3
2.1.2. Işık Akısı	4
2.1.3. Işık Şiddeti	4
2.1.4. Aydınlık Düzeyi	5
2.1.5. Parıltı	7
2.1.6. Kontrast	7
2.1.7. Kamaşma	8
2.1.8. Etkinlik Faktörü	8
2.1.9. Renk Sıcaklığı	8
2.1.10. Renksel Geriverim	9
2.1.11. Ortalama Ömür	9
2.1.12. Ekonomik Ömür	9
2.2. Yol Aydınlatması Tasarımında Kullanılan Hesap Parametreleri	9
2.2.1. Hesap Alanı	9
2.2.2. Yolun Yansıtma Özellikleri	11
2.2.3. Ortalama Parıltı Düzeyi (L_{ort})	13
2.2.4. Ortalama Parıltı Düzensizliği (U_o)	14
2.2.5. Boyuna Parıltı Düzensizliği (U_L)	15
2.2.6. Bağlı Eşik Artışı (TI)	15
2.2.7. Çevre Aydınlatma Oranı (SR)	15
2.2.8. Görsel Kılavuzlama	16
2.2.9. Uluslar arası Standart ve Önerilere Göre Yol Aydınlatması Kalite Büyüklükleri	16
2.3. Yol Aydınlatmasında Kullanılan Işık Kaynakları	22
2.3.1. Yüksek Basıncılı Civa Buharlı Lambalar	22
2.3.2. Metal Halojen Lambalar	24
2.3.3. LED'ler	26
2.3.4. Alçak Basıncılı Sodyum Buharlı Lambalar	27
2.3.5. Yüksek Basıncılı Sodyum Buharlı Lambalar	29
2.4. Yüksek Basıncılı Sodyum Buharlı Lambaların Çalıştırılması İçin Gerekli Yardımcı Elemanlar	31
2.4.1. Balast	32
2.4.2. Ateşleyici	36

2.4.3. Kompanzasyon kondansatörü ve filtre bobini	37
2.5. Yol Aydınlatmasında Kullanılan Armatürler	37
2.5.1. Fotometrik Özelliklerine Göre Armatürlerin Sınıflandırılması	38
2.5.2. IP Sınıflarına Göre Armatürlerin Sınıflandırılması	40
2.5.3. Armatürlerin Bakım-İşletme Faktörü	41
3. YOL AYDINLATMASI OTOMASYON SİSTEMLERİ	43
3.1. Yüksek basınçlı Sodyum Buharlı Lambalar İçin Loşlaştırma Teknikleri	43
3.1.1. Kademeli Loşlaştırma Teknikleri	43
3.1.2. Sürekli Loşlaştırma Teknikleri	46
3.2. Loşlaştırmanın Lamba Performansına Etkisi	51
3.2.1. Etkinlik faktörü	51
3.2.2. Lamba Ömrü	52
3.2.3. Renk	53
3.2.4. Uyumluluk	53
3.2.5. Fliker	53
3.3. Haberleşme Sistemleri	53
3.3.1. Yerel Kontrol Birimi İle Loşlaştırma Cihazı Arasındaki Haberleşme	54
3.3.2. Merkezi Kontrol İle Yerel Kontrol Birimi Arasındaki Haberleşme	57
3.4. Kontrol Stratejisinin Belirlenmesi	59
4. DÜNYADAKİ UYGULAMALAR	64
4.1. Avrupa	64
4.1.1. Norveç	64
4.1.2. İsveç	65
4.1.3. Finlandiya	66
4.1.4. Hollanda	67
4.1.5. İngiltere	67
4.2. Çin	68
4.3. Amerika Birleşik Devletleri	69
4.4. Türkiye	71
5. KARŞILAŞTIRMA VE MALİYET HESAPLARI	73
5.1. Otomasyon Sistemi Kurulmadığı Durum	74
5.2. Otomasyon Sistemi Kurulduktan Sonraki Durum	78
5.2.1. Birinci Çözüm	85
5.2.2. İkinci Çözüm	88
6. SONUÇ	91
KAYNAKLAR	95
EKLER	98
ÖZGEÇMİŞ	110

KISALTMALAR

CIE	: Commission Internationale de L'Éclairage
IEC	: International Electrotechnical Commission
HD	: Harmonization Documents
EN	: European Norm
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
TEDAŞ	: Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
AFT	: Ağırlık Faktörlerinin Toplamı
LED	: Light Emitting diyote
CWA	: Constant Wattage Autotransformer
IP	: International Protection
DC	: Direct Current
AC	: Alternating Current
HID	: High Intensity Discharge
SDU	: Switching Device Unit
RMS	: Root Mean Square
DALI	: Digital Addressable Lighting Interface
NLPIP	: National Lighting Product Information Program
NEMA	: National Electric Manufacturers Association
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AF	: Audio Frequency
EDF	: Électricité de France
TCP	: Transmission Control Protocol
IP	: Internet Protocol
GSM	: Global System For Mobile Communications
CEN	: Comité Européen de Normalisation
TC	: Technical Committee
NTNU	: Norwegian University of Science and Technology
LCC	: Lancashire County Council
UMIST	: University of Manchester Institute of Science and Technology
STI	: Streetlight Intelligence
IQ	: Intelligence Quotient
OLC	: Outdoor Luminaire Controller

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2-1	CIE 115'e Göre Değişik Yol Tipleri İçin Aydınlatma Sınıfları.... 18
Tablo 2-2	CIE-1995'e Göre Motorlu Trafik İçin Yol Yüzeyi Parıltısına Bağlı Yol Aydınlatma Sınıflarının Kalite Kriterleri..... 19
Tablo 2-3	Türkiye'deki Yollar İçin Aydınlatma Sınıfları..... 20
Tablo 2-4	CIE 115-2008'e Göre M Aydınlatma Sınıfını Belirlemede Kullanılan Parametreler..... 21
Tablo 2-5	CIE-2008'e Göre Motorlu Trafik İçin Yol Yüzeyi Parıltısına Bağlı Yol Aydınlatma Sınıflarının Kalite Kriterleri..... 22
Tablo 2-6	CIE'ye Göre Armatürlerin Sınıflandırılması..... 39
Tablo 2-7	Armatürlerin İp Koruma Sınıfları..... 41
Tablo 2-8	CIE'ye Göre Armatürlerin Bakım İşletme Faktörü..... 42
Tablo 3-1	Metal Halojen Lambanın Güç İle Etkinlik Faktörünün Değişimi.. 52
Tablo 3-2	Yol Aydınlatmasında Kullanılan Haberleşme Yöntemlerinin Karşılaştırılması..... 54
Tablo 3-3	CEN/TC 169'a Göre Aydınlatma Yer Sınıfının Seçimi..... 61
Tablo 3-4	A3 Tipi Yolda Aydınlatma Sınıfı İçin Önerilen Aralık..... 62
Tablo 3-5	Aralıktan Uygun Sınıfın Seçilmesi..... 62
Tablo 4-1	M65 Otoyolu Üzerindeki Kontrol Parametreleri..... 68
Tablo 5-1	Örnek Yol İçin Tesisat Bilgileri..... 75
Tablo 5-2	Örnek Yolda Önerilen Ve Elde Edilen Hesap Sonuçları..... 75
Tablo 5-3	Otomasyonsuz Sistem Tesis Maliyeti..... 76
Tablo 5-4	İstanbul İli İçin Güneş Doğuş Ve Batış Saatleri..... 77
Tablo 5-5	Otomasyonsuz Sistem Enerji Maliyeti..... 78
Tablo 5-6	CIE 115-2008'e Göre Farklı Trafik Yoğunluklarındaki Aydınlatma Sınıfları..... 79
Tablo 5-7	Ortalama Geçen Araç Sayısına Göre Aydınlatma Sınıfının Belirlenmesi..... 80
Tablo 5-8	Farklı Aydınlatma Sınıfları İçin Hesaplanan Yol Parıltı Kriterleri 81
Tablo 5-9	Farklı Aydınlatma Sınıfları İçin Işık Akısı Ve Sistem Gücü Değerleri..... 86
Tablo 5-10	Farklı Sistem Güçlerinde Çalışma Saatleri..... 86
Tablo 5-11	Otomasyonlu Sistem İlk Tesis Maliyeti..... 87
Tablo 5-12	Otomasyonlu Sistem Yıllık Enerji Maliyeti..... 88
Tablo 5-13	Alternatif Sistem İlk Tesis Maliyeti..... 89
Tablo 5-14	Alternatif Sistem Yıllık Enerji Maliyeti..... 90
Tablo A-1	Birinci Çözüm; Ocak-Şubat Ayları İçin Saatlere Göre Geçen Araç Sayısı Ve Loşlaştırma Seviyeleri..... 98
Tablo A-2	Birinci Çözüm; Mart-Nisan Ayları İçin Saatlere Göre Araç Sayısı Ve Loşlaştırma Seviyeleri..... 99
Tablo A-3	Birinci Çözüm; Mayıs-Haziran Ayları İçin Saatlere Göre Araç Sayısı Ve Loşlaştırma Seviyeleri..... 100

Tablo A-4	Birinci Çözüm; Temmuz-Ağustos Ayları İçin Saatlere Göre Araç Sayısı Ve Loşlaştırma Seviyeleri.....	101
Tablo A-5	Birinci Çözüm; Eylül-Ekim Ayları İçin Saatlere Göre Araç Sayısı Ve Loşlaştırma Seviyeleri.....	102
Tablo A-6	Birinci Çözüm; Kasım-Aralık Ayları İçin Saatlere Göre Araç Sayısı Ve Loşlaştırma Seviyeleri.....	103
Tablo B-1	İkinci Çözüm; Ocak-Şubat Ayları İçin Saatlere Göre Geçen Araç Sayısı Ve Loşlaştırma Seviyeleri.....	104
Tablo B-2	İkinci Çözüm; Mart-Nisan Ayları İçin Saatlere Göre Araç Sayısı Ve Loşlaştırma Seviyeleri.....	105
Tablo B-3	İkinci Çözüm; Mayıs-Haziran Ayları İçin Saatlere Göre Araç Sayısı Ve Loşlaştırma Seviyeleri.....	106
Tablo B-4	İkinci Çözüm; Temmuz-Ağustos Ayları İçin Saatlere Göre Araç Sayısı Ve Loşlaştırma Seviyeleri.....	107
Tablo B-5	İkinci Çözüm; Eylül-Ekim Ayları İçin Saatlere Göre Araç Sayısı Ve Loşlaştırma Seviyeleri.....	108
Tablo B-6	İkinci Çözüm; Kasım-Aralık Ayları İçin Saatlere Göre Araç Sayısı Ve Loşlaştırma Seviyeleri.....	109

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 :Düzlemsel Açı.....	3
Şekil 2.2 : Uzay Açısı.....	4
Şekil 2.3 : Uzaklıkların Karesiyle Ters Orantı Yasası.....	5
Şekil 2.4 : Kosinüs Yasası.....	6
Şekil 2.5 : Hesap Alanında Yer Alan Büyüklükler.....	10
Şekil 2.6 : Yol Üzerindeki Bir Noktanın Parıltısını Belirleyen Açılar.....	12
Şekil 2.7 : Yüksek Basınçlı Civa Buharlı Lamba Örnekleri Ve Işık Spektrumu.....	23
Şekil 2.8 : Yüksek Basınçlı Civa Buharlı Lambanın İç Yapısı.....	23
Şekil 2.9 : Yüksek Basınçlı Civa Buharlı Lamba Elektrik Devresi.....	24
Şekil 2.10 : Metal Halojen Lamba Çeşitleri.....	25
Şekil 2.11 : Metal Halojen Lamba İç Yapısı.....	25
Şekil 2.12 : Osram HMI 4000W Lamba İçin Işık Spektrumu.....	25
Şekil 2.13 : Philips 66W Led Yol Aydınlatma Armatürü.....	27
Şekil 2.14 : Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba İç Yapısı.....	28
Şekil 2.15 : Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba Örneği Ve Işık Spektrumu.....	28
Şekil 2.16 : Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba Elektrik Devresi.....	29
Şekil 2.17 : Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba İç Yapısı.....	30
Şekil 2.18 : Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba Örnekleri Ve Işık Spektrumları.....	30
Şekil 2.19 : Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba Elektrik Devresi.....	31
Şekil 2.20 : Deşarj Lambaları İçin Akım Gerilim Karakteristikleri.....	32
Şekil 2.21 : Balast İle Akımın Sınırlandırılması.....	33
Şekil 2.22 : Balastlı Bir Devrenin Akım/Gerilim Karakteristiği.....	33
Şekil 2.23 : Sabit Güçlü Balast Devresi.....	35
Şekil 2.24 : Yarı-Paralel Ateşleyici.....	36
Şekil 2.25 : Yüksek Frekanslı Darbe Ateşleyici.....	37
Şekil 2.26 : Filtre Bobinlerini Uygun Kondansatörler İle Grublama Yöntemleri.....	37
Şekil 2.27 : Ekranlı Tip Armatüre Ait Işık Dağılım Eğrisi.....	40
Şekil 2.28 : Yarı Ekranlı Tip Armatüre Ait Işık Dağılım Eğrisi.....	40
Şekil 2.29 : Ekranlı Tip Armatüre Ait Işık Dağılım Eğrisi.....	40
Şekil 3.1 : Paralel Bağlı Kondansatör Kullanılan Kontrol Devresi.....	44
Şekil 3.2 : Seri Bağlı Kondansatör Bulunan Kontrol Devresi.....	44
Şekil 3.3 : Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lambaların İki Balast İle Kademeli Olarak Loşlaştırılması.....	45
Şekil 3.4 : Elektronik Balast Ve Kontrol Ünitesi.....	46
Şekil 3.5 : Faz Kesme Yönteminde Dalga Şekli.....	47
Şekil 3.6 : Yeni Faz Keme Yöntemi İle Oluşan Dalga Şekli.....	48
Şekil 3.7 : Hibrit Elektronik Balast Sistemi.....	48

Şekil 3.8	: Philips Dynavision Bsh Balast.....	49
Şekil 3.9	: Philips Dynavision Elektronik Kontrol Ünitesi.....	49
Şekil 3.10	: Elektronik Balast Devresi.....	50
Şekil 3.11	: Philips Marka Elektronik Balastta Kontrol Gerilimine Bağlı Olarak Işık Akısındaki Değişim.....	51
Şekil 3.12	: 400 W Kaplamalı Metal Halojen Lamba Işık Çıkışının Giriş Gücüne Göre Değişimi.....	52
Şekil 3.13	: Haberleşme Yöntemleri.....	54
Şekil 3.14	: Standart Dalı Haberleşme Halkası Ve Loşlaştırma Sinyali.....	57
Şekil 4.1	: Telemangement Sistemi Genel Şeması.....	64
Şekil 4.2	: Oslo Asker Arasındaki Otoyolda Aydınlatma Kontrol Sistemi Kurulduktan Sonra Farklı Enerji Fiyatları İçin Elde Edilecek Tasarruf Miktarları.....	65
Şekil 4.3	: Kobra Başlı Aydınlatma Armatürü.....	69
Şekil 4.4	: Lumen IQ Sistemi.....	70
Şekil 4.5	: 2006 Yılı Türkiye Elektrik Enerjisi Tüketiminin Sektörlere Göre Dağılımı.....	71
Şekil 5.1	: İstanbul Şehir İçinde Bir Örnek Yola Ait Şema.....	73
Şekil 5.2	: Philips Sgs254 Fg Cp P3x 1xson-Tpp250w Kodlu Armatüre Ait Işık Dağılım Eğrisi.....	74
Şekil 5.3	: Aralık Ayında Pazartesi Günü Saatlere Göre Trafik Yoğunluğundaki Değişim.....	82
Şekil 5.4	: Aralık Ayında Cumartesi Günü Saatlere Göre Trafik Yoğunluğundaki Değişim.....	82
Şekil 5.5	: Aralık Ayında Pazar Günü Saatlere Göre Trafik Yoğunluğundaki Değişim.....	83
Şekil 5.6	: Temmuz Ayında Pazartesi Günü Saatlere Göre Trafik Yoğunluğundaki Değişim.....	83
Şekil 5.7	: Temmuz Ayında Cumartesi Günü Saatlere Göre Trafik Yoğunluğundaki Değişim.....	84
Şekil 5.8	: Temmuz Ayında Pazar Günü Saatlere Göre Trafik Yoğunluğundaki Değişim.....	84
Şekil 5.9	: Loşlaştırma İçin Kullanılacak Sistem İçin Işık Akısı Ve Gücün Kontrol Gerilimine Göre Değişimi.....	85

SEMBOL LİSTESİ

Φ	: Işık akısı (lm)
K_o	: Enerji akısının fotometrik eşdeğeri
F	: Enerji akısı
V_λ	: Gözün spektral duyarlılığı
I	: Işık şiddeti
E	: Aydınlık düzeyi (lx)
L_α	: Parıltı (cd/m ²)
L_f	: Fon parıltısını (cd/m ²)
L_c	: Cisim parıltısı (cd/m ²)
ρ	: Yüzeyin yansıtma faktörü
e	: Etkinlik faktörü (lm/W)
P	: Güç
R_a	: Renksel geriverim
D	: Noktalar arası boyuna mesafe (m)
S	: Armatürler arasındaki mesafe (m)
N	: Hesap noktası sayısı
D	: Enine doğrultudaki noktalar arası mesafe (m)
W_L	: Şerit genişliği (m)
Σ	: Toplam ifadesi
q	: Parıltı faktörü
r	: İndirgenmiş parıltı faktörü
α	: Düşey düzlemde yoldan yansıyarak gözlemciye ulaşan ışık ile yatay arasındaki gözlem açısı
β	: Düşey gözlemci düzlemi ile armatürden gelen ışık düzlemi arasındaki açı
γ	: Düşey dikme ile gelen ışık arasındaki açı
δ	: Gözlemcinin bulunduğu düşey düzlem ile yol eksenini arasındaki açı
C	: Fotometrik azimut açısı
H	: Armatürün yoldan yüksekliği
L_{ort}	: Ortalama Parıltı Düzeyi
U_o	: Ortalama Parıltı Düzgünlüğü
U_L	: Boyuna Parıltı Düzgünlüğü
TI	: Bağlı Eşik Artışı
ΔL_K	: Kamaşma koşullarındaki parıltı eşiği
ΔL_e	: Kamaşma olmadığındaki parıltı eşiği
SR	: Çevre Aydınlatma Oranı
I_{lamba}, I_{balast}	: Lamba ve balast akımları
$U_{\text{şebeke}}, U_{\text{balast}}, U_{\text{lamba}}$: Şebeke, balast ve lamba gerilimleri
Z_{balast}	: Balast empedansı
α_{lamba}	: Lambanın şekline, gerilimine ve akımına bağlı olan lamba faktörü
L	: Endüktans

f	: Frekans
I_{80°}	: C=0° ve C=20° lik düzlemlerde düşeye göre $\gamma=80^\circ$ lik açı altındaki en büyük ışık şiddeti değeri (cd/1000 lm cinsinden).
I_{90°}	: C=0° ve C=20° lik düzlemlerde düşeye göre $\gamma=90^\circ$ lik açı altındaki en büyük ışık şiddeti değeri (cd/1000 lm cinsinden).
E_{yort}	: Ortalama yatay aydınlık düzeyi
İTM	: İlk Tesis Maliyeti
d_s	: Direk sayısı
d_{mal}	: Direk fiyatı
d_{mon}	: Direk montaj fiyatı
n	: Armatür sayısı
a_{mal}	: Armatür fiyatı
a_{mon}	: Armatür montaj fiyatı
kb_u	: Kablo uzunluğu
kb_{mal}	: Kablo fiyatı
kb_{mon}	: Kablo montaj fiyatı
EN	: Enerji maliyeti
P_i	: Armatür gücü (lamba gücü + balast gücü) (W)
H_e	: 1 kWh elektriğin fiyatı
k_{sür}	: Yıllık kullanma süresi
YTL	: Yeni Türk Lirası

YOL AYDINLATMASI OTOMASYONU

ÖZET

Standart yol aydınlatması sistemleri genellikle zaman ayarlı ya da foto elektrik kontroller ile anahtarlanmakta ve tesis edilmiş lambalar gün ışığı bulunmayan saatlerde sürekli aynı güçte çalışarak aynı ışık akısını vermektedirler. Diğer yandan yoldaki trafik ya da meteorolojik koşullarda zamana bağlı değişimler olmakta ve bu durumda yol üzerinde ihtiyaç duyulan parıltı düzeyi değişebilmektedir. Yol üzerinde o anda ihtiyaç olmadığı halde, fazla aydınlatma yapmak enerjinin de boşa harcanması anlamına gelmektedir. Enerji tüketimi yapılan her alanda, enerjiyi daha verimli bir şekilde kullanarak, tasarruf elde etmek için dünyada çeşitli çalışmalar yapılmakta, ülkelerin elektrik enerjisi tüketimlerinde pay sahibi olan yol aydınlatma sistemlerinden elde edilebilecek enerji tasarrufu da önem kazanmaktadır.

Yol aydınlatma kalite kriterlerinden ödün vermeden istenilen düzeyde aydınlatma sağlamak, ancak bir otomasyon sistemi ile yol koşullarının takip edilmesi ve buna uygun şekilde armatürlerin kontrol edilmesi ile yapılabilmektedir. Ayarlanabilir yol aydınlatması (adaptive road lighting) olarak adlandırılan sistemler, trafik yoğunluğunda, farklı meteorolojik koşullarda, kazalar gibi beklenmeyen durumlarda lambaların ışık akısını arttırıp azaltarak yol üzerinde o anki koşullara uygun parıltı düzeyi sağlamaktadır.

Yol aydınlatması otomasyon sistemlerinin bir diğer fonksiyonu da lamba durumlarının görüntülenebilmesidir. Yol aydınlatma sistemlerinde enerji tüketim giderleri dışındaki önemli bir maliyet de bakım çalışmalarından kaynaklanmaktadır. Otomasyon sistemleri kullanıldığında daha iyi hizmet verilerek, bakım masraflarının azaltılabilmesi de olanaklı olmaktadır.

Son yıllarda çeşitli ülkelerde yol aydınlatması otomasyonu ile ilgili örnek projeler hayata geçirilmektedir. Avrupa'da pek çok ülkede Telemangement Sistemi kullanılarak "akıllı yol aydınlatması" tesisatları kurulmakta ve işletilmekte, Amerika'da "Streetlight Intelligence (STI) Lumen IQ" cihazı kullanılarak yol aydınlatması otomasyonu yapılmakta, Çin'de merkezi bir sistemle zaman ayarlı olarak yol aydınlatma armatürleri loşlaştırılmaktadır. Bu sistemlerin kurulmasıyla yol aydınlatması amaçlı enerji tüketimlerinde % 30 - % 40 oranlarında azalmalar sağlanabilmiştir. Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) da yol aydınlatması kriterlerini önerdiği mevcut yayınını (CIE-115 "Motorlu ve Yaya Trafığı Yollarının Aydınlatması İçin Öneriler, 1995) otomasyon koşullarını dikkate alarak yeniden düzenleme çalışmalarına devam etmektedir.

Bu çalışmada, öncelikle yol aydınlatması otomasyonu sistemlerinin yapısı incelenecek ve çeşitli ülkelerde bu konuda yürütülen projeler hakkında bilgi verilecektir. Türkiye için İstanbul'da şehir içindeki örnek bir yol üzerinde otomasyon sistemi kurulmadan önce tüketilen elektrik enerjisi miktarı ile aynı yol üzerinde Dünya'daki uygulamalara benzer bir strateji geliştirilerek yapılacak loşlaştırma sonucunda tüketilen enerji miktarları karşılaştırılarak, elde edilecek enerji tasarruf oranı belirlenecektir. Böyle bir sistemin kurulması halinde gerekli yatırım masrafı ve

geri ödeme süresi de hesaplanarak, ileride yapılabilecek yol aydınlatması otomasyon uygulamaları için bir örnek çalışma oluşturulması amaçlanmaktadır.

ROAD LIGHTING AUTOMATION

SUMMARY

Traditional road lighting systems are usually switched on/off by photocells or timers, and during dark hours lamps are burning at full power giving the highest luminous flux values. By the other hand, traffic density or meteorological conditions may change in time, which brings a necessity of different levels of lumination on the road surface. Determining an excessive level of lumination when not necessary, also means some waste of energy. Many countries in the world pay attention to energy efficiency, in every field concerned of energy consumption. Road lighting is one of them and energy savings from road lightings is becoming increasingly significant.

Without giving up road lighting quality criteria, it is only possible to achieve the required level of lumination, by following the conditions on the road and controlling the luminaires in a proper way. Systems, called “adaptive road lighting”, adjust the luminous flux value of the lamps to implement the proper lumination level, according to the changes in traffic volume, meteorological conditions and unexpected situations like accidents.

Another function of road lighting automation systems is the possibility of monitoring lamp status. Considerable amount of costs in a road lighting installation consists of maintenance works. When automation systems are used, it is possible to give a better service and reduce the maintenance costs.

Recently, many countries implement pilot projects for road lighting automation systems. In Europe “intelligent road lighting systems” using Telemangement are being installed. In USA, “Streetlight Intelligence (STI) Lumen IQ” system is used for road lighting automation. In China, a time adjusted central control system is installed to reduce the lighting level. By the installation of these systems energy savings up to %30 - %40 are said to be achieved. International Commission on Illumination (CIE) also is working on a revision for the current publication (CIE-115 “Recommendations for the lighting of roads for motor and pedestrian traffic, 1995) to adapt the automation conditions.

In this study, first the system structure is checked over and field applications in different countries are described briefly. In Turkey, on a sample road in Istanbul energy costs are calculated for both a lighting system without automation and a lighting system which is assumed to be controlled with a properly developed strategy, in parallel with the sample applications in the world. Energy savings potential is then calculated. The installation costs of the automation system and payback period are also calculated. In this study, it is intended to constitute a reference for future projects.

1 GİRİŞ

Teknolojik ilerlemeler ve toplumsal gelişmeler sonucunda yollar üzerindeki trafik yükü artmakta, güvenli taşımacılık daha da önemli hale gelmektedir. Trafik, gündüz saatlerinde daha yoğun olmakla birlikte, gün ışığından faydalanamadığımız gece saatlerinde de yoğun olarak devam etmektedir.

Geceleri, araba farları ile sürücülerin görsel ihtiyacı bir miktar karşılanabilse de, hız, yoldaki araç sayısı ve trafiğin karmaşıklığı göz önüne alındığında söz konusu araç farları ile aydınlatma koşulları yeterli olmamaktadır. Sürücülere rahat ve güvenli bir sürüş olanağı yaratılabilmesi amacıyla, yol üzerinde görme koşulları için gerekli kriterlere sahip bir aydınlatma gerçekleştirilmelidir. Bunun için kaliteli bir yol aydınlatma sisteminin tesis edilmiş olmasının önemi büyüktür. Ayrıca şehir içindeki yol aydınlatmalarının güvenli bir yaşam ortamı yaratma gibi de amaçları vardır.

Çeşitli uluslar arası öneri ve standartlarda, yol aydınlatma tesisatlarında sağlanması gereken kalite büyüklükleri verilmiştir. Bu çalışma içeriğinde de Bölüm 2’de yol aydınlatması ile ilgili temel kavramlardan bahsedilmiş, daha sonra Türkiye için geçerli olan Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) önerilerine göre yol aydınlatması tasarımında kullanılan parametreler anlatılmıştır. Bu bölümde ayrıca yol aydınlatması için kullanılacak ışık kaynaklarından, yardımcı elemanlardan ve armatürlerden bahsedilerek görüş koşulları ve ekonomiklik açısından en optimum çözümü sağlayan tesisat belirlenmiştir.

Gece saatleri boyunca aynı ışık akısını vermek üzere tesis edilen standart yol aydınlatması sistemlerinden farklı olarak, yol aydınlatması otomasyon sistemleri kurulduğunda, trafik yoğunluğunda, meteorolojik koşullarda, kazalar gibi beklenmeyen durumlarda lambaların ışık akısını arttırıp azaltarak yol üzerinde o anki koşullara uygun parlaklığı sağlanmaktadır. Bölüm 3’te bu şekilde kontrol yapmaya olanak sağlayan otomasyon sistemleri, uygulanabilecek loşlaştırma yöntemleri ve otomasyon sisteminde yer alan cihazların arasındaki haberleşme protokolleri anlatılmıştır.

Son yıllarda çeşitli ülkelerde yol aydınlatması otomasyonu ile ilgili örnek projeler hayata geçirilmekte ve önemli enerji tasarrufları elde edilmektedir. Bölüm 4'te; Dünya'da yol aydınlatması otomasyonu ile ilgili gerçekleştirilmiş olan çalışmalar ve Türkiye'deki mevcut durum incelenmiştir.

Bölüm 5'te, Türkiye için İstanbul'da şehir içindeki örnek bir yol üzerinde otomasyon sistemi kurulmadan önce tüketilen elektrik enerjisi miktarı ile aynı yol üzerinde uygun bir strateji geliştirilerek yapılacak loşlaştırma sonucunda tüketilen enerji miktarları karşılaştırılarak, elde edilecek enerji tasarruf oranı belirlenmiştir. Böyle bir sistemin kurulması halinde gerekli yatırım masrafı ve geri ödeme süresi hesaplanmış, ileride Türkiye'de yol aydınlatması otomasyon uygulamaları gerçekleştirildiğinde elde edilecek sonuçlara ilişkin bir örnek ortaya konmuştur.

2 YOL AYDINLATMASI İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR

Teknolojik ilerlemeler ve toplumsal gelişmeler sonucunda yollar üzerindeki trafik yükü artmakta, güvenli taşıma yapabilmek daha da önemli hale gelmektedir. Trafik, gündüz saatlerinde daha yoğun olmakla birlikte, gün ışığından faydalanamadığımız gece saatlerinde de yoğun olarak devam etmektedir [1].

Geceleri, araba farları ile sürücülerin görsel ihtiyacı bir miktar karşılanabiliyor olsa da, hız, yoldaki araç sayısı ve trafiğin karmaşıklığı göz önüne alınırsa bu far aydınlatması yeterli olmamaktadır. Sürücülere rahat ve güvenli bir sürüş sağlamak için yol üzerindeki gerekli görüş koşulları sağlanmak zorundadır. Bunun için kaliteli bir yol aydınlatma sisteminin tesis edilmiş olması çok büyük önem taşımaktadır.

Bu bölümde yol aydınlatması ile ilgili temel kavramlardan bahsedilerek yol aydınlatması kalite büyüklükleri anlatılacaktır.

2.1 Fotometrik Büyüklükler

Bu bölümde yol aydınlatması teknikleri uygulanırken temel olarak kullanılan bazı fotometrik kavramlar kısaca açıklanmıştır.

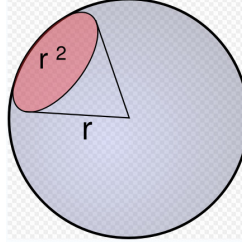
2.1.1 Düzlemsel Açı ve Uzay Açısı

Düzlemsel açı bir noktadan çıkan iki yarım doğru arasında kalan açıdır. Böyle bir açı iki yarım doğru arasında kalan yay uzunluğunun yarıçapa bölümü ile ölçülür ve birimi radyandır. Bir noktaya ait düzlemsel açı 2π radyandır [2]. Şekil 2.1'deki çizimde düzlemsel açı gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Düzlemsel açı

Uzay açısı da benzer şekilde bir noktadan çıkıp koni ya da piramit teşkil eden yarı doğruların meydana getirdiği uzay parçası olarak tanımlanır. Uzay açısı, bu koninin yarıçapı r olan küreden ayırdığı küre kapağının alanının yarıçapın karesine bölümü ile ölçülür ve birimi steradyan (sr)'dır. Bir noktaya ait uzay açısı 4π steradyandır [2]. Şekil 2.2'deki çizimde uzay açısı gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Uzay açısı

2.1.2 Işık Akısı

Bir ışık kaynağının ışık akısı, bu ışık kaynağından çıkan ve normal gözün gündüz görmesine ait spektral duyarlılık eğrisine göre değerlendirilen enerji akısıdır [2].

Φ harfiyle gösterilir. Birimi lümen(lm)'dir.

$$\Phi = K_0 \cdot F \cdot V_\lambda \quad (2-1)$$

Burada K_0 enerji akısının fotometrik eşdeğeri, F enerji akısı, V_λ gözün spektral duyarlılığıdır.

2.1.3 Işık Şiddeti

Bir ışık kaynağı, ürettiği ışık akısını farklı doğrultulara farklı yoğunluklarda gönderebilir. Belli bir doğrultudaki ışımının büyüklüğüne ışık şiddeti denir.

Işık şiddeti I harfi ile gösterilir. Birimi kandela (cd)'dir. Noktasal ışık kaynakları için tanımlanır ve doğrultuya bağlı bir büyüklüktür.

Noktasal bir ışık kaynağının herhangi bir α doğrultusundaki ışık şiddeti, bu doğrultuyu içine alan bir $\Delta\Omega_\alpha$ uzay açısından çıkan $\Delta\Phi$ ışık akısının $\Delta\Omega_\alpha$ uzay açısına bölümünün $\Delta\Omega_\alpha$ sıfıra yaklaşırken limitidir [2].

$$I_{\alpha} = \lim_{\Delta\Omega_{\alpha} \rightarrow 0} \frac{\Delta\Phi}{\Delta\Omega_{\alpha}} = d\Phi/d\Omega_{\alpha} \quad (2-2)$$

Eğer kaynaktan geçen bir düzlem üzerindeki ışık şiddetlerinin uç noktaları göz önüne alınırsa bunların geometrik yeri kaynağın ışık dağılım yüzeyi ile söz konusu düzlemin ara kesitinden oluşan bir eğridir. Bu eğriye ışık dağılım eğrisi denir [2].

2.1.4 Aydınlık Düzeyi

Birim yüzeye düşen ışık akısı miktarıdır.

E harfi ile gösterilir. Birimi lux'tür.

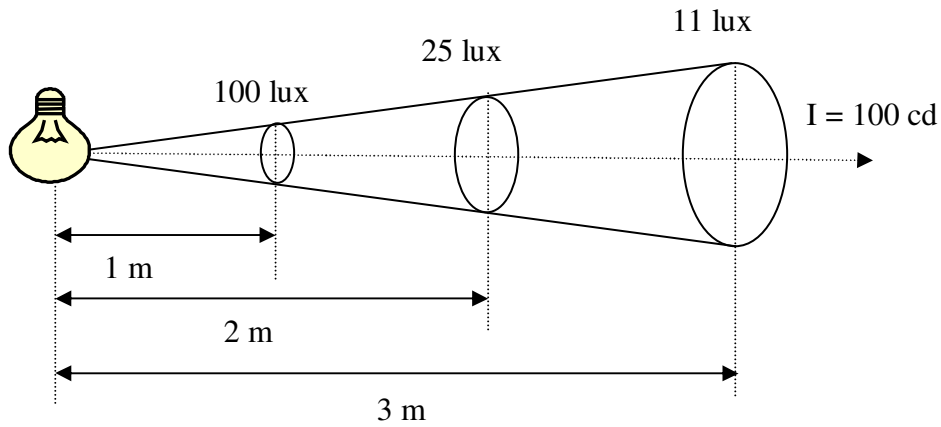
Bir yüzeyin bir M noktasındaki aydınlık düzeyi, bu noktayı içine alan bir ΔS yüzeyine dik düşen $\Delta\Phi$ ışık akısının ΔS yüzeyine bölümünün ΔS sıfıra giderkenki limitine eşittir [2].

$$E = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta\Phi}{\Delta S} = d\Phi/dS \quad (2-3)$$

Işığın geliş doğrultusuna dik düzlem üzerindeki bir noktanın aydınlık düzeyi, bu nokta doğrultusundaki ışık şiddetinin, söz konusu nokta ile noktasal ışık kaynağı arasındaki mesafenin karesine bölünmesine eşittir. Uzaklık d ile gösterilirse, ışığın geliş doğrultusuna dik düzlem üzerindeki P noktasındaki aydınlık düzeyi;

$$E_p = I / d^2 \quad (2-4)$$

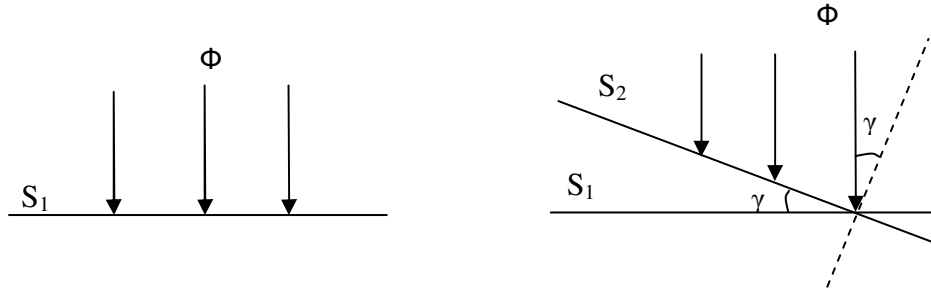
şeklinde bulunur.



Şekil 2.3 Uzaklıkların Karesiyle Ters Orantı Yasası

Şekil 2.3’de örnek bir çizim ile gösterilen bu bağıntı “uzaklıkların karesi ile ters orantı yasası” olarak bilinir ve sadece noktasal kabul edilebilen kaynaklar için geçerlidir. Bir ışık kaynağı, ancak yeter derecede büyük bir uzaklıktan yani sınır veya kritik uzaklık adı verilen bir uzaklıktan bakıldığı zaman noktasal kabul edilebilir. Fotometrik ölçmeler için, sınır uzaklığı %1’den küçük hata ile, ışık kaynağının en büyük boyutunun yaklaşık 10 katı ve %1 ila %2 hata ile de 5 katı kadardır. Fakat uygulamada, ışık kaynağı ile hesap noktası arasındaki uzaklık, ışık kaynağının en büyük boyutundan 3 kat daha fazla olduğunda söz konusu kaynak noktasal kabul edilebilmektedir [3].

Yüzeyin normali ile gelen ışık doğrultusu arasındaki açı γ olduğunda, yüzey üzerindeki bir P noktasının aydınlık düzeyi, bu nokta doğrultusundaki ışık şiddetinin ışık kaynağı ile nokta arasındaki uzaklığın karesine bölümünün γ açısının kosinüsü ile çarpımına eşittir. Bu yasa “kosinüs yasası” olarak bilinir ve Şekil 2.4’deki çizim ile gösterilmektedir.



Şekil 2.4 Kosinüs Yasası

Aydınlatma hesabında çok kullanılan noktasal aydınlatma formülü aşağıda verilmektedir:

$$E_p = (I / d^2) \cdot \cos\gamma \quad (2-5)$$

Noktasal aydınlatma formülü kullanılarak yatay, düşey ve yarı-silindirik aydınlık düzeyleri hesaplanır [3].

Yol aydınlatması için kullanılan yatay aydınlık düzeyi hesabında, noktasal aydınlatma formülündeki ışık kaynağı ile nokta arasındaki (d) uzaklığının yerine, ışık kaynağı ile düzlem arasındaki dik mesafenin (h) kullanılması daha pratik olmaktadır. Bu durumda formül şu şekli almaktadır;

$$E_{yatay} = (I / h^2) \cdot \cos^3 \gamma \quad (2-6)$$

2.1.5 Parıltı

Bir yüzeyin göze ne kadar parlak görüldüğünün bir ölçüsüdür.

L harfi ile gösterilir. Birimi cd/m^2 'dir. Yüzeyin birim alanından belli bir doğrultuda yayılan ışık şiddeti ile ilgili bir kavramdır. Işık yayan yüzey kendisi ışık üreten bir lamba veya ışık geçiren bir armatür yüzeyi gibi birincil ışık kaynağı olabileceği gibi, başka bir kaynaktan ulaşan ışığı yansıtan ikincil bir ışık kaynağı da olabilir.

Parıltı tanımı şöyle yapılabilir: "Işık yayan bir yüzeyin bir M noktasının bu yüzeyin normali ile α açısı yapan doğrultudaki parıltısı, M noktasını içine alan ΔA yüzey elemanının bu doğrultuda doğurduğu ΔI_α ışık şiddetinin ΔA 'nın bu doğrultuya dik düzlemdeki ΔA_g görünen alanına oranının limitidir".

$$L_\alpha = \lim_{\Delta A_g \rightarrow 0} \Delta I_\alpha / \Delta A_g = dI_\alpha / dA_g \text{ 'dir.} \quad (2-7)$$

Parıltı kavramı yüzeyin belli bir noktası ve gözlem doğrultusunu kapsadığından, parıltıdan söz ederken bunun hangi yüzeyin hangi noktası ve doğrultuya ait olduğunu belirtmek gerekir [2].

İdeal yansıtıcı yüzeylerin parıltısı, aydınlık düzeyinden yararlanılarak hesaplanabilir. Parıltı ile aydınlık düzeyi arasında aşağıdaki ilişki vardır:

$$L = \rho \cdot E / \pi \quad (2-8)$$

Burada ρ ; yüzeyin yansıtma faktörünü göstermektedir.

2.1.6 Kontrast

Bir cisim ancak kendisinin parıltısı ile fonunun parıltısı arasında belirli bir parıltı farkı varsa algılanabilir. Bu fark kontrast olarak adlandırılır. Bir cismin algılanabilir olması için gerekli kontrast ihtiyacı cismin görüldüğü açıya ve gözlemcinin görüş

alanındaki parl ltı dağılımına bağlıdır. Bir cisimle fonu arasındaki mutlak parl ltı farkı veya kontrast, fon parl ltısı ile cismin parl ltısının farkı olarak tanımlanır [3].

$$\Delta L = L_f - L_c \quad (2-9)$$

L_f : fon parl ltısı (cd/m^2)

L_c : cisim parl ltısı (cd/m^2)

2.1.7 Kamaşma

Kamaşma sağlam bir gözün dış etkilerle geçici olarak etrafındaki cisimleri göremez hale gelmesine denir. Eğer gözün görme alanındaki parl ltı çok büyük değerler alırsa göz kamaşır ve buna ‘‘Direkt Kamaşma’’ denir. Kamaştırıcı kaynak gözün görme alanı dışında ise bu tip kamaşmaya da ‘‘Endirekt Kamaşma’’ denir. Yol aydınlatmasında iki türlü kamaşma söz konusudur:

1- Psikolojik Kamaşma: psikolojik kamaşma, görme yeteneğinde herhangi bir azalma olmaksızın sürücüde hoş olmayan bir duygu uyandırır ve seyahat konforunu olumsuz olarak etkiler.

2- Fizyolojik Kamaşma: Fizyolojik kamaşma gözün görme yeteneğini azaltır [3].

2.1.8 Etkinlik Faktörü

Birim güce düşen ışık akısına etkinlik faktörü denir. Birimi lm/W 'tır [2].

$$e = \Phi/P \quad (2-10)$$

e : etkinlik faktörü (lm/W)

Φ : ışık akısı (lm)

P : güç (W)

2.1.9 Renk Sıcaklığı

Renk sıcaklığı, siyah cismin ışık yaydığı sıcaklık ile ışık kaynaklarının görünen renklerinin eşleştirilerek, ışık renginin tanımlandığı bir durumdur. ışık kaynakları, ışık rengi bakımından sıcak-orta-soğuk renkli olmak üzere   temel gruba ayrılır.

Renk sıcaklığı 3300°K'den düşük ışık kaynakları 'sıcak', 3300°K ile 5300°K arasında olanlar 'ılık' ve 5300°K'den yüksek olanlar 'soğuk' ışık olarak adlandırılır [4].

2.1.10 Renksel Geriverim

Renksel geriverim, bir ışık kaynağının tayfsal yapısının aydınlatılan nesnelerin üzerindeki etkisidir. Renksel geriverim Ra ile gösterilir ve birimi yoktur [4]. Değeri 0 ila 100 arasında değişir. Ra değeri yüksek olan ışık kaynakları kullanılan tesisatlarda cisimlerin renkleri, doğal aydınlatma altındaki koşullara yakın olur.

2.1.11 Ortalama Ömür

İstatistiksel bakımdan değerlendirilebilecek sayıda lambadan oluşan bir aydınlatma tesisinde, normal koşullarda lambaların %50 sinin kullanılamaz hale gelmesi için geçen süredir [3].

2.1.12 Ekonomik Ömür

İstatistiksel bakımdan değerlendirmeye yetecek sayıda lambadan oluşan bir aydınlatma tesisinde, 100 saat kullanmadan sonraki toplam ışık akısının lambaların kullanılmaz hale gelmeleri ve ışık akılarının azalmalarından dolayı yaklaşık % 30 değer kaybetmesi için geçen süredir [3].

2.2 Yol Aydınlatması Tasarımında Kullanılan Hesap Parametreleri

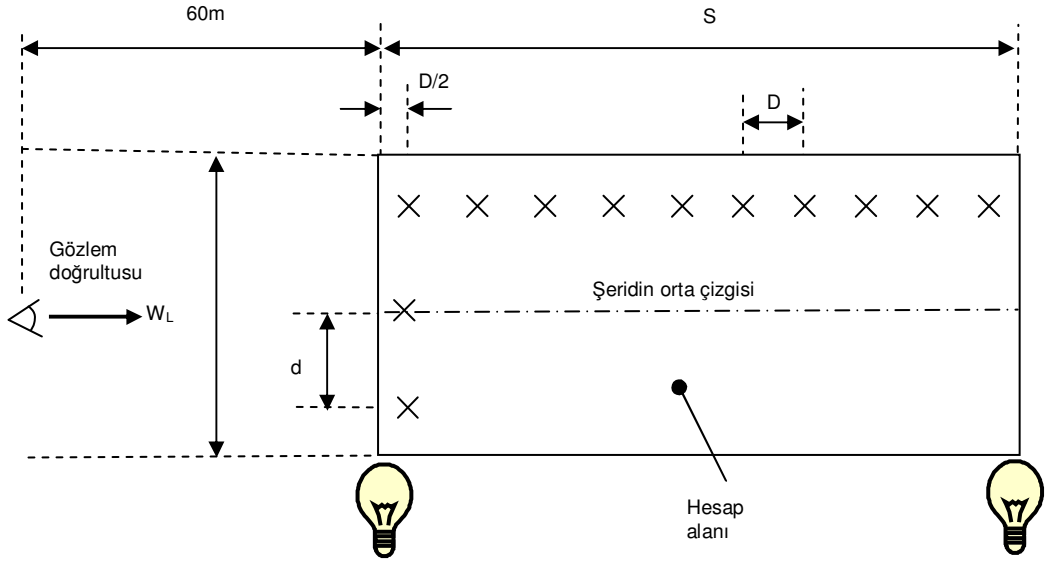
Yol aydınlatması için kalite kriterlerinin belirlenmesinde en çok kullanılan yöntem parıltı yöntemidir. Parıltı yönteminde amaç, yol üzerindeki cisimlerin karaltı olarak görülebilmesi için aydınlık bir yol yüzeyi sağlamaktır. Bu nedenle, yol yüzeyi parıltısının seviyesi ve düzgünlüğü yanında kamaşma kontrolü de önem taşımaktadır [1].

Parıltı yöntemine göre hesap yapılırken göz önünde bulundurulması gereken çeşitli faktörler aşağıda anlatılmaktadır.

2.2.1 Hesap Alanı

CIE 140-2000 "Yol Aydınlatması Hesapları" başlıklı yayında yol aydınlatması için kriter olarak kabul edilen büyüklükler ve nasıl hesaplanacakları belirlenmiştir [5].

Yol aydınlatması hesapları, simetri koşulları dikkate alınarak yolun tamamını temsil edecek en küçük alanda yapılmalıdır. Hesap alanı olarak iki armatür arasında kalan bölgeyi seçmek genellikle yeterli olmaktadır. Şekil 2.5’de iki armatür arasında kalan hesap alanı ve bu alanda yer alan büyüklükler gösterilmektedir.



Şekil 2.5 Hesap alanında yer alan büyüklükler

Hesap alanında yer alan hesap noktası sayısı (N) armatürler arasındaki mesafeye göre belirlenir.

$S \leq 30$ m için $N=10$

$S \geq 30$ m için $D \leq 3$ m koşulunu sağlayan en küçük tam sayıdır.

W_L : şerit genişliği (m),

S: armatürler arasındaki mesafe (m)

D: noktalar arası boyuna mesafe (m)

d: noktalar arası enine mesafe olmak üzere,

İlk hesap noktası başlangıçtan $D/2$ mesafede belirlenir.

Noktalar arası boyuna mesafeyi hesaplamak için

$$D = S/N \quad (2-11)$$

Noktalar arası enine mesafeyi hesaplamak için

$$d = W_L / 3 \quad (2-12)$$

denklemleri kullanılır.

Yol dışındaki hesaplamalar ise şerit kenarından $d/2$ mesafede başlar. Gözlemci şeridin orta noktasında ve ilk armatürden 60 m geride yer alır. Göz yüksekliği 1,5 m kabul edilir. Gözlemci konumu, parıltısı hesaplanan noktaya göre değişmediği için “sabit” olarak nitelendirilir [5].

2.2.2 Yolun Yansıtma Özellikleri

Işık yaymayan yüzeylerin parıltısı, yüzeyden yansıyan ışıkla ilgilidir. Bu nedenle parıltı yöntemi ile yol aydınlatması hesabı yapılırken yol yüzeyinin yansıtma özellikleri de bilinmelidir.

Yol yüzeylerinin yansıtma özellikleri aşağıdaki şekilde açıklanabilir [6].

Yol yüzeyleri, bileşimlerindeki maddelerin renk, boyut, biçim gibi fiziksel özellikleri, ıslak ve kuru oluşları, yolun kullanım süresi, aşınma durumu, düşen ışının doğrultusu ve gözlemci konumuna göre değişik yansıtma özellikleri gösterirler.

Yol yüzeylerinin yansıtma özellikleri, bir noktanın parıltısının o noktada mevcut yatay aydınlık düzeyine oranı ile tanımlanan parıltı faktörü ile verilirler.

$$q(\alpha, \beta, \gamma, \delta) = L/E_y \quad (2-13)$$

Burada;

q: parıltı faktörü,

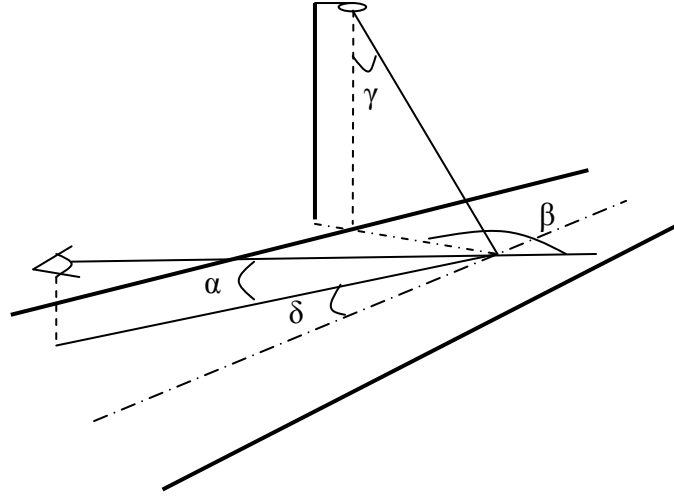
α : düşey düzlemde yoldan yansıtılarak gözlemciye ulaşan ışık ile yatay arasındaki gözlem açısı

β : düşey gözlemci düzlemi ile armatürden gelen ışık düzlemi arasındaki açı

γ : düşey dikme ile gelen ışık arasındaki açı

δ : gözlemcinin bulunduğu düşey düzlem ile yol eksenindeki açıdır.

Yol üzerindeki bir noktanın parıltısını belirleyen açılar Şekil 2.6’da gösterilmektedir.



Şekil 2.6 Yol üzerindeki bir noktanın parıltısını belirleyen açılar

Parıltı yönteminde hesap alanı olarak yolun 60-160 m'lik kısmının dikkate alınması yeterli olmaktadır. Sürücü gözünün yerden 1,5 m yükseklikte olduğu kabul edildiğinde α açısı 0,5 ile 1,5 derece aralığında kalmaktadır. Bu bölgede yapılan ölçümler değerlendirildiğinde 0,5-1,5 derece aralığı için parıltı faktörünün hesabında α açısı yaklaşık 1 derece olarak sabit kabul edilebilir.

60 m'den daha uzak gözlemciler için pratikte δ açısının değeri de sadece 0-20 derece arasında değiştiğinden ve gözlemcinin yol şerit genişliğinin orta noktasında durduğu kabul edildiğinden δ açısı da ihmal edilebilir.

Bu kabullere göre q parıltı faktörü sadece β ve γ açılarının fonksiyonu olarak kabul edilir.

$$E_{yatay} = (I / h^2) \cdot \text{Cos}^3 \gamma \quad (2-14)$$

Denklemden hareketle yol üzerindeki bir noktanın parıltısı;

$$L = q \cdot E_{yatay} = (q \cdot I \cdot \text{Cos}^3 \gamma) / h^2 = r \cdot I / h^2 \quad (2-15)$$

olarak hesaplanır. Burada I , aydınlatma armatürünün parıltısı hesaplanan nokta doğrultusundaki ışık şiddeti, h armatür montaj yüksekliği, r ise indirgenmiş parıltı faktörüdür.

$$r = q \cdot \text{Cos}^3 \gamma \quad (2-16)$$

Yapılacak hesaplarda kolaylık sağlamak ve bir standardizasyon getirmek amacıyla yollar yansıtma özelliklerine göre sınıflandırılmışlardır. Uluslararası Aydınlatma Komisyonu'na göre kuru yollar R1, R2, R3 ve R4 olmak üzere 4 sabit standart yüzeyde kabul edilebilirler. Bu dört yol sınıfının arasında kalan yansıtma özelliklerini tanımlayabilmek için ilaveten C1 ve C2 sınıfları da mevcuttur [7, 8].

Türkiye'de yol yüzeyi yansıtma özellikleri gerekli ölçümler yapılmadığı için belirlenememekte ve tüm yollar R3 sınıfı olarak kabul edilmektedir [9]. Bu da tasarım hesaplama sonuçları ile yerinde yapılan saha ölçüm sonuçlarının uyumsuz olmasına neden olmaktadır.

Yol ıslandığında yansıtma özellikleri tümüyle değişir. Yolun karanlık kısımları daha karanlık görünürken, aydınlık kısımları ise daha aydınlık görünür. CIE 47-1979 "Islak Koşullarda Yol Aydınlatması" başlıklı yayınında ıslak yol koşullarında kullanılacak yansıtma sınıfları W1, W2, W3 ve W4 olarak verilmiştir. W1'den W4'e gidildikçe aynasallık artar. Pratikte W4'ten daha aynasal yansıtıcı yol yüzeyleri çok nadir bulunduğundan, CIE 47'de, yol yüzeyi daha az aynasal olsa bile, ıslak koşullarda tasarım hesaplarında yol aydınlatma sınıfının W4 olarak kabul edilmesi güvenli bir yaklaşım olarak önerilmiştir [10].

2.2.3 Ortalama Parıltı Düzeyi (L_{ort})

Hesap noktalarında hesaplanan parıltıların toplamının, hesap noktası sayısına oranıdır. Gözlemcinin yalnız kendi şeridindeki noktalar değil, yolun tamamı için hesaplanır. Hesaplar gözlemcinin her şeridin ortasında olması halleri için tekrarlanarak, bulunan en düşük değer yolun ortalama parıltısı olarak kabul edilir.

Yol aydınlatması armatürlerinin, yolun belli bir noktasında oluşturacağı parıltı; o noktadaki yatay aydınlık düzeyine ve yolun yansıtma özelliklerine bağlı olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$L = \Sigma q((I \cdot \cos^3 \gamma)/H^2) = \Sigma I \cdot r/H^2 \quad (2-17)$$

Burada;

Σ ; bütün armatürlerin katkısının toplanacağını ifade eder

q ; yol yüzeyinin parıltısı hesaplanan noktadaki parıltı faktörüdür ($cd/m^2/lux$)

r ; yol yüzeyinin parıltısı hesaplanan noktadaki indirgenmiş parıltı faktörüdür.

I; armatürün parıltısı hesaplanan nokta doğrultusundaki ışık şiddetidir.

H; armatürün yoldan yüksekliğidir (m)

γ ; her bir armatürden gelen ışının düşeyle yaptığı açıdır.

Her bir armatürün hesap noktasında oluşturduğu parıltı hesaplanarak toplandığında o noktanın parıltısı bulunur.

CIE 115'e göre hesap noktasından gözlem doğrultusunda armatürün yoldan yüksekliğinin (H) on iki katı, gözlem noktasının gerisinde ve enine doğrultularda ise beş katı mesafe içinde kalan armatürlerin hesaba katılması yeterlidir [1].

Armatürlerin lamba ekseninden geçen farklı düzlemlerdeki (farklı fotometrik azimut açılarındaki) çeşitli doğrultularda (çeşitli düşey fotometrik açılarda) verdiği ışık şiddeti değerleri armatür üreticileri tarafından tablolar halinde verilmektedir. Fotometrik azimut açısı C, düşey fotometrik açı ise γ ile gösterilmektedir.

$$I=I(C, \gamma) \quad (2-18)$$

Söz konusu açılar hesaplandıktan sonra, armatürün belli bir nokta doğrultusunda yaydığı ışık şiddeti değeri, bu tablolardan interpolasyon yolu ile bulunabilir. Hesapların doğruluğu açısından tablolardaki açı aralıklarının küçük olmasında fayda vardır. CIE 140'da tabloda C açılarının en fazla 5, γ açılarının ise en fazla 2,5 derece aralıklarla verilmesini önerilmektedir [5].

Aydınlatmanın, tesis ömrü boyunca etkinliğini koruması açısından, parıltı hesabında armatürlerin zamanla kirlenmeleri ve lambaların ışık akılarının zamanla azalmasına ilişkin bakım faktörleri de hesaba katılmalıdır. Bakım faktörü değerleri armatürlerin koruma sınıfları, temizlenme sıklıkları, ortamın kirlilik derecesi gibi faktörlere bağlı olarak belirlenir [11].

2.2.4 Ortalama Parıltı Düzgünlüğü (U_o)

CIE 140'ta, yol üzerinde en düşük parıltıya sahip hesap noktasının parıltısının, yolun ortalama parıltısına oranı olarak tanımlanır. Birimsiz bir büyüklüktür.

$$U_o = L_{\min} / L_{\text{ort}} \quad (2-19)$$

Her şeridin ortasındaki tüm gözlemciler için ayrı ayrı hesaplanarak en düşük değer alınır.

Parıltı düzgünlüğü görüş konforunu arttırdığı ve olumlu psikolojik etkileri olduğu için aynı ortalama parıltıyı veren tesisatlardan ortalama düzgünlüğü yeterince iyi olan tercih edilmelidir.

2.2.5 Boyuna Parıltı Düzgünlüğü (U_L)

CIE 140'ta, her yol şeridinin orta çizgisi üzerindeki hesap noktalarında, söz konusu şeridin orta çizgisi üzerinde bulunan gözlemciye göre hesaplanan en düşük parıltının en yüksek parıltıya oranı olarak tanımlanır [5]. Birimsiz bir büyüklüktür.

$$U_L = L_{\min} / L_{\max} \quad (2-20)$$

Her bir şerit için ayrı ayrı hesaplanarak bulunan en düşük değer alınır.

Sistemin ortalama düzgünlük faktörü yüksek bir değerde olsa da yol boyunca karşılaşılan parıltı farkları rahatsızlık hissi yaratabilir. Boyuna düzgünlük, bu hissin ölçüsüdür ve yolun konfor seviyesini belirtir.

2.2.6 Bağlı Eşik Artışı (TI)

Armatürlerden doğrudan göze gelen ışığın retinada oluşturduğu aydınlık düzeyi, hem bakılan cismin hem de fonunun retinada oluşturduğu aydınlık düzeylerine eklenerek kontrastı düşürür ve görmeyi zorlaştırır. Bu etki "örtü parıltısı" olarak değerlendirilir.

Bağlı eşik artışı, sürücünün görüş alanındaki armatürlerden kaynaklanan mutlak kamaşmanın yol açtığı görme zorluğunun bir ölçüsüdür.

Kamaşma koşullarındaki parıltı eşiği ΔL_K ile kamaşma olmadıgındaki ΔL_e eşik farkının ΔL_e 'ye oranı olarak ifade edilir.

$$TI = (\Delta L_K - \Delta L_e) / \Delta L_e \quad (2-21)$$

Formül, kamaşma yokken görülebilen bir cismin kamaşma olduğu zaman görülebilmesi için parıltı farkındaki artış yüzdesini esas almaktadır [1].

2.2.7 Çevre Aydınlatma Oranı (SR)

Yol aydınlatmasının temel amacı cisimlerin görülebilmesi için yeterli kontrastı sağlayacak bir yol parıltısı sağlamaktır. Özellikle yolun virajlı bölümlerinde yol üzerindeki ve yol kenarlarındaki yüksek cisimlerin üst kısımları ve yolun kenarına

yakın cisimler için fon, yol değil yolun yakın çevresidir. Bu nedenle yol çevresinin de belli oranlarda aydınlatılmış olması önem taşımaktadır.

Yol çevresinin aydınlatılmasının bir diğer faydası da, yol kenarındaki yayaların ve cisimlerin görülme olasılığını arttırmasıdır.

Çevre aydınlatma oranı yolun kaldırım tarafında bulunan 5 m'lik bölümünün ortalama aydınlık düzeyinin, yolun iç tarafındaki 5 m'lik kısmının ortalama aydınlık düzeyine oranıdır [1].

Söz konusu yolda kaldırım varsa ve CIE 115'te belirtilen şekilde aydınlatılmışsa çevre aydınlatma oranının belli bir değeri sağlaması gerekmez.

2.2.8 Görsel Kılavuzlama

Sürücünün gözüne armatürlerden doğrudan gelen ışık, yolun hangi yöne devam ettiği ve yola katılım/ayrılım noktalarıyla ilgili bilgileri sürücüye sağlayabilir. Bu olguya görsel kılavuzlama adı verilir.

Doğru şekilde uygulandığında özellikle çok virajlı ve katımlı yollarda, sisli havalarda yolun güvenliği ve konforu üzerinde olumlu etkisi vardır. Etkin bir görsel kılavuzlama için bölünmüş yolların refüjden aydınlatılması ve virajlarda direklerin virajın dış tarafına yerleştirilmesi önerilmektedir.

2.2.9 Uluslar arası Standart ve Önerilere Göre Yol Aydınlatması Kalite Büyüklükleri

Dış aydınlatmaya ilişkin temel kurallar IEC 60364 serisi, HD 384 serisi, EN 13201 serisi standartlara ve CIE yayınlarına göre belirlenir. IEC 60364 ve HD 384 serisi standartlarda dış aydınlatma tesislerinin elektriksel güvenlik ile ilgili kuralları, EN 13201 serisi standartlar ise yol aydınlatma sınıfları, performans ve ölçme kuralları yer alır. CIE 34, CIE 43, CIE 67, CIE 70 ve CIE 121 nolu yayınlarda fotometrik ölçüm esasları verilmekte, CIE 115, CIE 23, CIE 31, CIE 93, CIE 112 ve CIE 140 nolu yayınlarda da çeşitli aydınlatma kriterlerinin belirlenmesinde uyulacak kurallar yer almaktadır [9, 1, 5, 8, 10-20]. Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) yayınları ilgili konularda öneriler oluşturmak amaçlı olarak uzman kişiler tarafından hazırlanmaktadır. CIE yayınlarında açıklanan kuralların sadece öneri niteliğinde olduğu, her ülkenin bu kuralları kendi ekonomik, kültürel, iklimsel, vb. koşullarına göre uyarlaması gerektiği ifade edilmektedir.

Uluslar arası Aydınlatma Komisyonu (CIE)'nin 115-1995 "Motorlu araç ve Yaya Trafiği İçin Yol Aydınlatması Önerileri" başlıklı teknik raporunda motorlu araç trafiğine açık yollar, yolun kullanım amacına, trafik yoğunluğuna, karmaşıklığına, trafiğin ayrılmasına, trafik ışıkları gibi kontrollerin bulunup bulunmamasına göre M1 ile M5 arasında aydınlatma sınıflarına ayrılmıştır [1].

CIE 115'e göre yol aydınlatma sınıfları Tablo 2-1'de, bu sınıflarda sağlanması gereken parlılık kriterleri ise Tablo 2-2'de verilmektedir.

Tablo 2-1 CIE 115'e göre değişik yol tipleri için aydınlatma sınıfları

Yolun Tanımı	Aydınlatma Sınıfı
Bölünmüş yollar, ekspres yollar, otoyollar, (otoyola giriş ve çıkışlar, bağlantı yolları, kavşaklar, ücret toplama alanları) Trafik yoğunluğu ve yolun karmaşıklık düzeyi (Not :1) ; Yüksek Orta Düşük	M1 M2 M3
Devlet yolu ve il yolları (tek yönlü veya iki yönlü; kavşaklar ve bağlantı noktaları ile şehir geçişleri ve çevre yolları dahil) Trafik kontrolü (Not : 2) ve yol kullanıcılarının (Not : 3) tiplerine göre ayrımı (Not : 4) ; Zayıf İyi.	M1 M2
Şehir içi ana güzergahlar (bulvarlar ve caddeler), ring yolları, dağıtıcı yollar Trafik kontrolü (Not : 2) ve yol kullanıcılarının (Not : 3) tiplerine göre ayrımı (Not : 4) ; Zayıf İyi	M2 M3
Şehir içi yollar (yerleşim alanlarına giriş çıkışın yapıldığı ana yollar ve bağlantı yolları) Trafik kontrolü (Not : 2) ve yol kullanıcılarının (Not : 3) tiplerine göre ayrımı (Not : 4) ; Zayıf İyi	M4 M5
Not : 1-) Karmaşıklık yolun geometrik yapısını, trafik hareketlerini ve görsel çevreyi içerir. Göz önünde bulundurulması gereken faktörler; şerit sayısı, yolun eğimi, trafik ışık ve işaretleri.	
Not : 2-) Trafik kontrolü; yatay ve düşey işaretlemeler ve sinyalizasyon ile trafik mevzuatının varlığı anlamında kullanılmıştır. Bunların olmadığı yerlerde trafik kontrolü zayıf olarak adlandırılır.	
Not : 3-) Kullanıcılar ; motorlu araçlar (kamyon, otobüs, otomobil vb.), bisiklet, yavaş araçlar ve yayalar.	
Not : 4-) Ayrım, tahsisli yol (her bir trafik cinsinin kullanacağı şeridin kesin olarak ayrıldığı yerler, otobüs yolu, bisiklet yolu vb.)	

Tablo 2-2 CIE-1995'e göre motorlu trafik için yol yüzeyi parlaklığına bağlı yol aydınlatma sınıflarının kalite kriterleri

Aydınlatma sınıfı	L_0 (cd/m ²)	U_0	U_L	TI (%)
M1	≥ 2.0	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 10
M2	≥ 1.5	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 10
M3	≥ 1.0	≥ 0.4	≥ 0.5	≤ 10
M4	≥ 0.75	≥ 0.4		≤ 15
M5	≥ 0.5	≥ 0.4		≤ 15

İTÜ Enerji Enstitüsü ve TEDAŞ (Türkiye Elektrik Dağıtım AŞ) arasında yapılan bir anlaşma ile gerçekleştirilen çalışmalarda CIE önerileri göz önünde bulundurularak, elde edilebilecek ölçüm ve veriler de düşünülerek Türkiye'deki yollar için Tablo 2-3'deki aydınlatma sınıfları belirlenmiştir [21].

Tablo 2-3 Türkiye'deki yollar için aydınlatma sınıfları

Yolun Tanımı	Aydınlatma Sınıfı
Şehir bağlantıları ve çevre yolları (tek veya iki yönlü, kavşaklar ve bağlantı noktaları ile şehir geçişleri dahil) -Hız ≥ 90 km/h; -Hız < 90 km/h	M1 M2
Şehir içi ana güzergahlar (bulvarlar ve caddeler; ring yolları; dağıtıcı yollar) -50 km/h \leq Hız <90 km/h; 3 km'den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı var; -50 km/h \leq Hız <90 km/h; 3 km'den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı yok; -Hız <50 km/h	M1 M2 M3
Şehir içi yollar (yerleşim alanlarına giriş çıkışın yapıldığı ana yollar ve bağlantı yolları) -Hız ≥ 50 km/h; 3km'den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı var; -Hız ≥ 50 km/h; 3km'den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı yok; -Hız < 50 km/h; 3km'den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı var; -Hız < 50 km/h; 3km'den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı yok;	M3 M4 M4 M5
Yerleşim bölgelerindeki yollar -30 \leq hız <50 km/h; suç oranı yüksek; -30 \leq hız <50 km/h; suç oranı normal; -Hız <30 km/h; suç oranı yüksek; -Hız <30 km/h; suç oranı yüksek;	M4 M5 M5 M6

Türkiye için belirlenen bu yol sınıflarında CIE'nin 115 no'lu son teknik raporunda belirlenen kalite kriterleri geçerlidir (Tablo 2-5).

CIE 115-1995 revize edilerek CIE 115-2008 olarak adlandırılacak olan henüz yayınlanmamış olan dökümanında, normal yol aydınlatması ve ayarlanabilir yol aydınlatması olarak iki farklı uygulamadan bahsedilmiş, normal aydınlatma yapılması durumunda en ağır şartlar göz önüne alınarak, karanlık saatler boyunca bu maksimum değerleri sağlayacak şekilde aydınlatma yapıldığı belirtilmiştir. Ayarlanabilir yol aydınlatması yapıldığında ise, trafik ve hava durumu gibi değişken parametrelere göre parlı ya da aydınlık düzeyinin ayarlanabileceğinden bahsedilmektedir.

CIE 115-2008'e göre M aydınlatma sınıfını belirlemek için çeşitli parametrelerin ağırlık faktörleri toplanmakta ve 2-22 formülü ile aydınlatma sınıfı belirlenmektedir. Sonuç ondalık sayı çıkması halinde en yakın tam sayıya tamamlanmaktadır.

$$M= 6 - AFT \quad (2-22)$$

CIE 115-2008'e göre yol aydınlatma sınıfını belirlemek için kullanılan parametreler Tablo 2-4'de, yol sınıfına bağlı parıltı kalite kriterleri Tablo 2-5'de verilmektedir.

Tablo 2-4 CIE 115-2008'e göre M aydınlatma sınıfını belirlemede kullanılan parametreler

Parametre	Seçenekler	Ağırlık Faktörü (AF)	Seçilen AF
Hız	Yüksek	1	1
	Orta	0	
Trafik yoğunluğu	Çok yüksek	1	1
	Yüksek	0.5	
	Orta	0	
	Düşük	-0.5	
	Çok düşük	-1	
Trafik düzeni	Yüksek oranda motorlu olmayan trafik ile karışık	1	1
	Karışık	0.5	
	Yalnızca motorlu araç	0	
Yol refüj ile ayrılmış mı	Hayır	1	0
	Evet	0	
Kesişme yoğunluğu	Yüksek	1	0
	Orta	0	
Park etmiş araç	Var	1	0
	Yok	0	
Çevre aydınlatması	Çok yüksek	1	0,5
	yüksek	0.5	
	Orta	0	
	Düşük	-0.5	
	Çok düşük	-1	
Görsel Klavuzlama / trafik kontrolü	Zayıf	0.5	0
	İyi	0	
	Çok iyi	-0.5	
		Ağırlık Faktörlerinin Toplamı (AFT)	4
		Yol sınıfı	M2

Tablo 2-5 CIE-2008'e göre motorlu trafik için yol yüzeyi parlaltısına bağlı yol aydınlatma sınıflarının kalite kriterleri

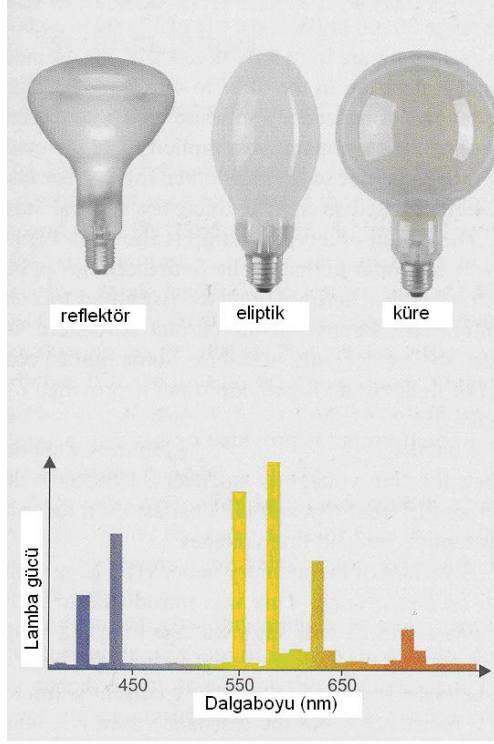
Aydınlatma Sınıfı	Yol yüzeyi parlaltısı				Bağıl Eşik Artışı	Çevre Aydınlatma Oranı
	Kuru			Islak		
	L_{ort} (cd/m ²)	U_o	U_L	U_o	TI (%)	SR
M1	≥ 2.0	≥ 0.40	≥ 0.70	≥ 0.15	< 10	> 0.5
M2	≥ 1.5	≥ 0.40	≥ 0.70	≥ 0.15	< 10	> 0.5
M3	≥ 1.0	≥ 0.40	≥ 0.60	≥ 0.15	< 10	> 0.5
M4	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≥ 0.15	< 15	> 0.5
M5	≥ 0.50	≥ 0.35	≥ 0.40	≥ 0.15	< 15	> 0.5
M6	≥ 0.30	≥ 0.35	≥ 0.40	≥ 0.15	< 20	> 0.5

2.3 Yol Aydınlatmasında Kullanılan Işık Kaynakları

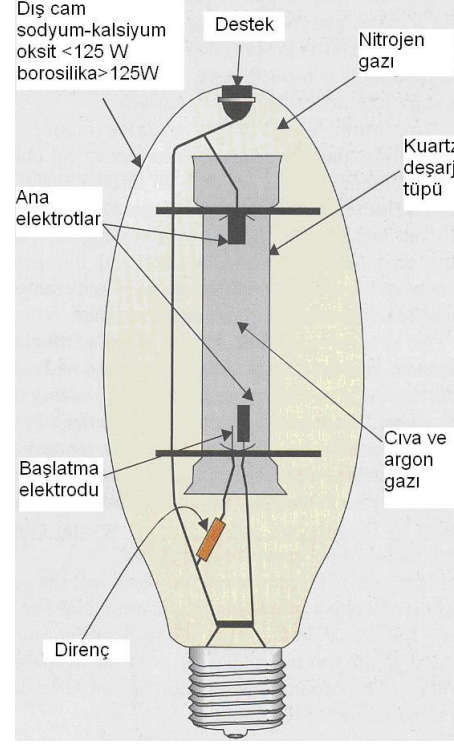
Yol aydınlatmalarında günümüz teknolojisinde yaygın olarak kullanılan ışık kaynakları, yüksek basınçlı civa buharlı lambalar, metal halojen lambalar, alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar ve yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalardır. LED (ışık yayan diyot) ışık kaynakları da yol aydınlatmaları için düşünölmeye başlamıştır.

2.3.1 Yüksek Basınçlı Civa Buharlı Lambalar

Ticari olarak ilk kullanılan yüksek basınçlı deşarj lambası, yüksek basınçlı civa buharlı lambalardır. Civa buharlı lamba örnekleri ve lamba iç yapısı sırasıyla Şekil 2.7 ve Şekil 2.8'de gösterilmektedir.



Şekil 2.7 Yüksek basınçlı civa buharlı lampa örnekleri ve ışık spektrumu



Şekil 2.8 Yüksek basınçlı civa buharlı lambanın iç yapısı

Bu lambalarda, civa buharı içinde meydana gelen deşarj olayı ile elektromanyetik ışıma sağlanır. Çalışma sırasında lampa iç basıncı 200-400 kPa (atmosfer basıncının 2-4 katı) olmaktadır. Soğuk bir lambada civa buharının deşarjı sağlanamayacağı için lampa içinde ayrıca argon gazı bulunur ve yardımcı elektrotlar ile argon gazının deşarjı sağlanır. Bu ön deşarj sonucu oluşan enerji civayı buharlaştırarak asıl deşarj işleminin gerçekleşmesini sağlar. Asıl deşarj için metal oksit elektrotlar kullanılır.

Oluşan radyasyon görülebilir bölgededir. 405, 436, 546, 577 ve 579 nm dalga boyları birleştiğinde mavimsi beyaz ışık oluşur. Çoğu civa buharlı lambada fosfor kullanılarak renksel geriverim özelliği artırılmaktadır.

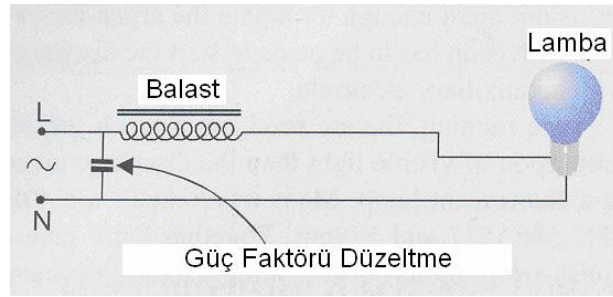
Deşarj için gereken yüksek basınç ve sıcaklık nedeniyle deşarj olayı bir deşarj tüpü içinde gerçekleşir. Bu deşarj tüpü, bir cam balon içine yerleştirilir. Cam balonun iç yüzeyi fosforla kaplanabilmektedir. Bu cam balon genellikle nitrojen ile doldurulup, içerideki parçaların oksitlenmesi önlenir ve deşarj tüpü için gerekli olan sabit bir sıcaklık sağlanır.

Yardımcı elektrotlarda, argon gazının iyonize olması için gereken ateşleme süresinde, lampa üzerinde gerilim düşük ancak akım normal çalışma akımından daha

yüksektir. Lamba ısındıkça civa buharlaşır ve akım azalır. Birkaç dakika içinde buhar basıncı sabitlenir.

Lamba gücü kesildiğinde, buhar basıncının deşarj oluşturabilecek bir seviyeye düşmesi için lambanın soğuması gerekir. Soğuma süresi de ısınma süresine benzer şekilde birkaç dakikadır.

Civa buharlı lambaların etkinlik faktörü 30-60 lm/W arasında değişir, ömürleri ise 4000-9000 saat arasındadır. Lamba güçleri 50W ile 2000W aralığında yer alır.



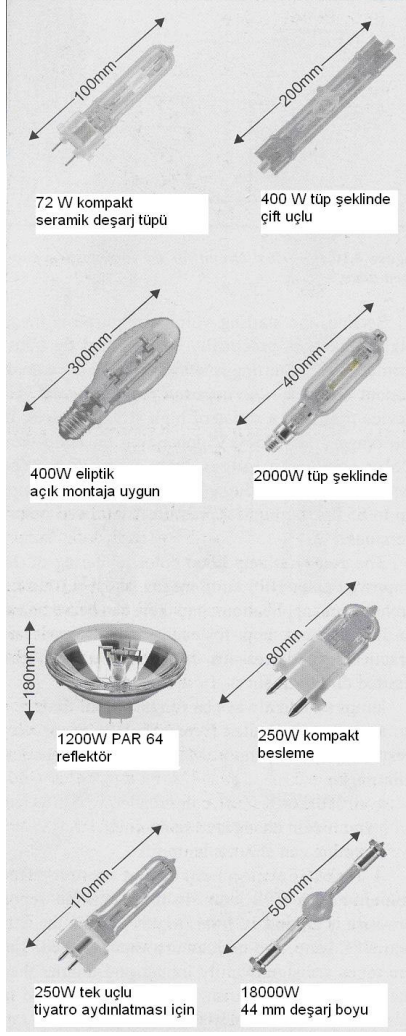
Şekil 2.9 Yüksek basınçlı civa buharlı lamba elektrik devresi

Yüksek basınçlı civa buharlı lamba devresi Şekil 2.9’da görülmektedir. Akım çok fazla azalırsa deşarj kararsız hale geleceğinden bu lambaların ışık çıkışı sınırlı bir şekilde kademeli şoklar ile kontrol edilebilmektedir [22].

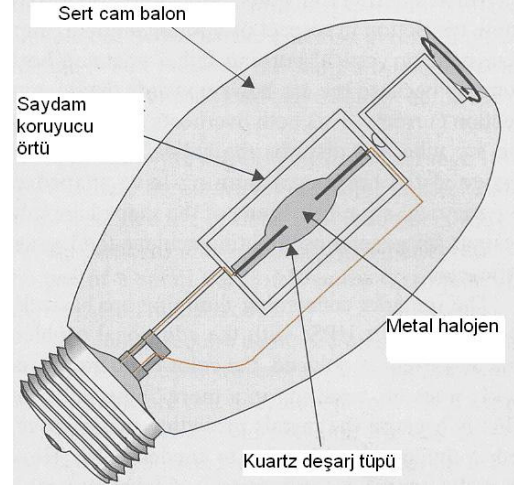
Lambaların etkinlik faktörleri ve ömürleri düşük olduğu için, TEDAŞ Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lambalar Şartnamesi ile Türkiye’de yol aydınlatmalarında yüksek basınçlı civa buharlı lambaların kullanılması yasaklanmıştır [23].

2.3.2 Metal Halojen Lambalar

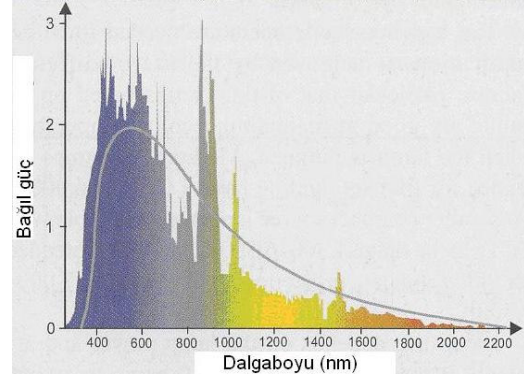
Metal halojen lambalar yüksek basınçlı civa buharlı lambalara benzerdir. Bu lambalarda civa buharı ve argona ilave olarak indiyum, sodyum, talyum gibi metal halojenler bulunmaktadır. Metal halojen lamba örnekleri, lamba iç yapısı ve ışık spektrumu; sırasıyla Şekil 2.10, Şekil 2.11 ve Şekil 2.12’de görülmektedir.



Şekil 2.10 Metal halojen lamba çeşitleri



Şekil 2.11 Metal halojen lamba iç yapısı



Şekil 2.12 Osram HMI 4000W lamba için ışık spektrumu. Gri ile gösterilen çizgi güneşin spektrumunu göstermektedir.

Lamba çalışma sıcaklığına ulaştığında metal halojenler buharlaşır. Halojen buharı deşarj yüksek sıcaklık eşiğine ulaştığında, halojen ve metal ayrılır, metal molekülleri kendi spektrumlarını yayar. Metal ve halojenler difüzyon ve konveksiyonla deşarj tüpünün daha soğuk kısımlarına, özellikle dış duvarlara hareket ederek, çevrimi yeniden başlatmak üzere birleşirler.

Metal halojen lambaların etkinlik faktörü 75-125 lm/W aralığındadır. Renksel geriverim özellikleri civa buharlı lambalara göre oldukça yüksektir. Genel amaçlı kullanılan lambaların renksel geriverimi 70'tir, ancak kullanılan halojen miktarına göre 95'e kadar çıkılabilmektedir. Renk sıcaklıkları genel amaçlı kullanımda 3600-

4200 K arasındadır. Lamba ömrü 6000-20000 saattir. Lamba güçleri 35W ile 20000W arasında değişmektedir [22].

Metal halojen lambaları çalıştırmak için ateşleyiciye ihtiyaç duyulur. Standart devre şeması yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar ile aynıdır (Şekil 2.19).

Metal Halojen lambaların rejime girme süresi 1-4 dakika arasındadır. Çoğu metal halojen lamba sıcakken yeniden ateşlenemediği için 2-10 dakika boyunca soğuması beklenmelidir [22].

Metal halojen lambaların renk özellikleri iyi ancak etkinlik faktörleri ve ömürleri şeffaf tüp yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalara oranla daha düşüktür. Bu nedenle renk özelliklerinin çok önemli olduğu alanlar dışında, örneğin yol aydınlatmalarında kullanılmaları ekonomik olmamaktadır.

2.3.3 LED'ler

LED kelimesi İngilizce "Light Emitting Diode" ifadesinin baş harflerinden oluşmuştur ve ışık yayan diyot anlamındadır. Uyarılmış elektronlar, uyarılmış durumdan normal duruma geçerken enerji açığa çıkmaktadır. Bu durum bir yarı iletkende gerçekleştiği zaman, uyarılan elektronlar bir miktar enerji açığa çıkaracaktır. Silikon'da açığa çıkan bu enerji görülebilir ışık üretmezken, örneğin Galyum Arsenik Fosfat gibi farklı bileşiklerde bu mümkün olabilmektedir. Galyum Arsenik Fosfat ile tasarlanmış LED'ler uzun yıllardır güç belirteci olarak ve nümerik göstergelerde kullanılmaktadırlar.

Başlangıçta genel aydınlatma için kullanımı uygun olmayan LED'lerin, son yıllardaki gelişmeler sayesinde yerleşim bölgelerinde, yaya yolları, bisiklet yolları, park ve bahçeler gibi araç trafiğinin düşük hızlarda ve sınırlı olduğu alanlarda kullanılabilmesi olanaklı hale gelmiştir. LED'ler tek renkli ışık üretmektedirler ve beyaz ışık ya da diğer ara renkler için üç rengin karışımı kullanılmaktadır. Ancak bu şekilde tam olarak istenen beyaz renk elde edilemediği için, fotoluminesan kullanılarak geliştirilmiş hibrit LED'ler denenmektedir.

Son bir gelişme olarak, Philips ve Lumiled konusunda partneri Agilent, LED'lerin yapısını değiştirerek verimleri 100 lm/W'ı geçen, tek bir LED ile 60 lm ışık akısı elde edilebilen ve genel aydınlatmada kullanılmaya elverişli LED'ler geliştirmişlerdir [24].

Loşlaştırma yapılabilen LED'ler ışık kirliliği yaratmamakta olup, uzun ömürlüdürler (50 000 saat) ve bakım masrafları da düşüktür. Bu özellikleri ile gittikçe önem kazanan ışık kaynakları olarak ortaya çıkmaktadırlar [3, 24].

Işık kaynağı olarak LED kullanılan bir yol aydınlatma armatürü Şekil 2.13'de görülmektedir.

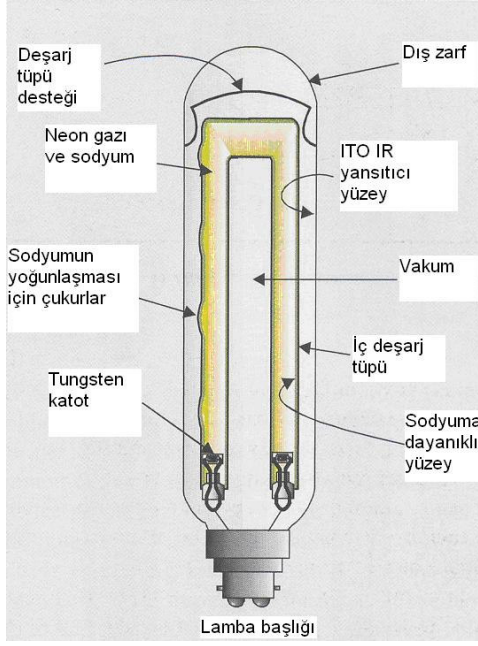


Şekil 2.13 Philips 66W LED yol aydınlatma armatürü

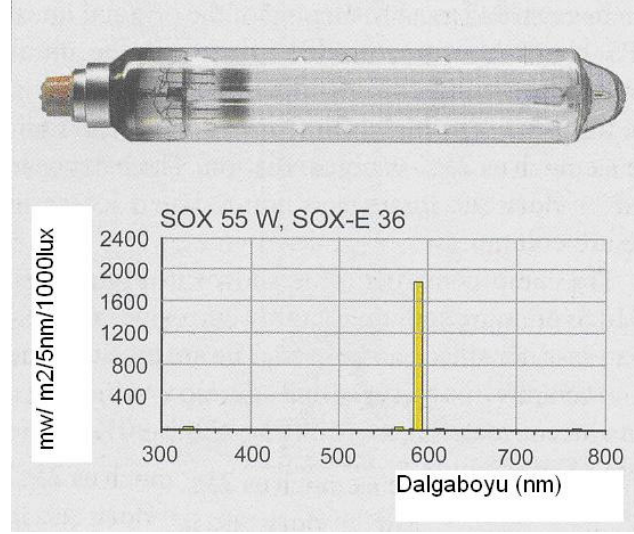
2.3.4 Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı Lambalar

Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar 0,7-1 Pa basınç altında sodyum buharının deşarjı ile ışık üretirler. 589,0 ve 589,6 nm dalga boylarında sarı ışık üretirler. Monokromatik yapıları nedeniyle renksel geriverimleri oldukça düşük, ancak etkinlik faktörleri balast kayıpları hariç 150-200 lm/W gibi yüksek değerlerdedir.

Alçak basınçlı sodyum buharlı lamba iç yapısı, lamba örneği ve ışık spektrumu sırasıyla Şekil 2.14 ve Şekil 2.15'de görülmektedir.



Şekil 2.14 Alçak basınçlı sodyum buharlı lamba iç yapısı



Şekil 2.15 Alçak basınçlı sodyum buharlı lamba örneği ve ışık spektrumu

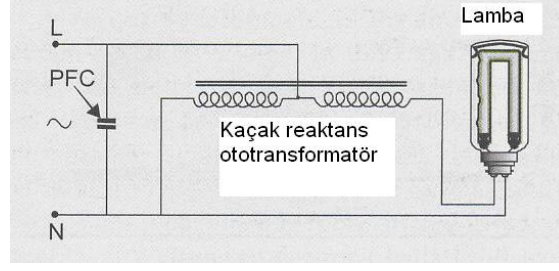
Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar 18-180W güçlerde, 16000-23000 saat ömründedirler. 180 W lamba 33000 lümen ışık akısı verir [22].

Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar sodyum madeni içeren uzun bir deşarj tüpüne ihtiyaç duyarlar. Deşarj tüpü çift uçlu ya da tek uçlu olabilmektedir. Daha çok kullanılan tek uçlu deşarj tüpü U şeklindedir. U şeklindeki deşarj tüpünün dışında içi vakumlanmış bir cam balon bulunur.

Civa buharlı lamba gibi alçak basınçlı sodyum buharlı lambalarda da ateşleme için deşarj tübü içinde 1000 Pa basınçta %99 neon, %1 argon'dan oluşan gaz bulunmaktadır. Ön deşarj ile lambanın sıcaklığı artar, 260°C'de sodyum buharlaşır ve asıl deşarj başlar.

Rejime girme süresi 10 dakika civarında oldukça uzundur, fakat sıcak ateşleme performansı yüksektir.

Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar ateşleme için 400-500V gerilime ihtiyaç duyarlar. Ateşleme geriliminin yüksek olması nedeniyle kullanılacak balast transformatör ve akım sınırlayıcı bobinden oluşmalıdır [22]. Lamba elektrik devresi Şekil 2.16'da verilmektedir.



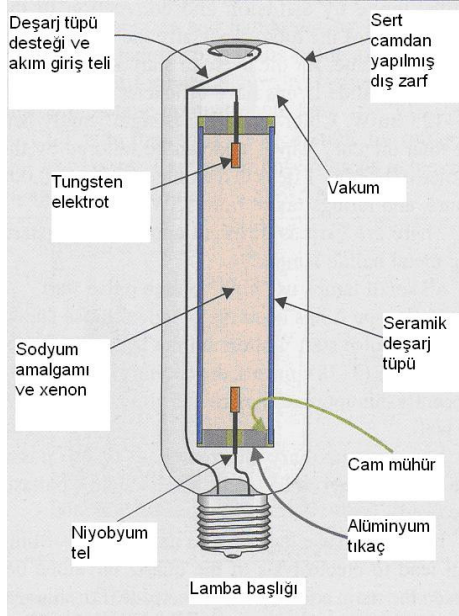
Şekil 2.16 Alçak basınçlı sodyum buharlı lamba elektrik devresi

Bu lambaların renk özellikleri açısından yerleşim ve yaya trafiği olan kent içi yollarda kullanılması çok doğru değildir. Ancak ışınları tek bir filtre ile elimine edilebildiğinden, ışık kirliliğinin önlenmesi gereken doğal çevre ve astronomi gözlemevleri etrafındaki yol, sokak, meydan, alan aydınlatmalarında kullanılmaları zorunlu olan tek lamba grubudur. Etkinlik faktörü yüksek olan bu lambalar, rengin önemli olmadığı tüm yol aydınlatmalarında kullanılabilir [25].

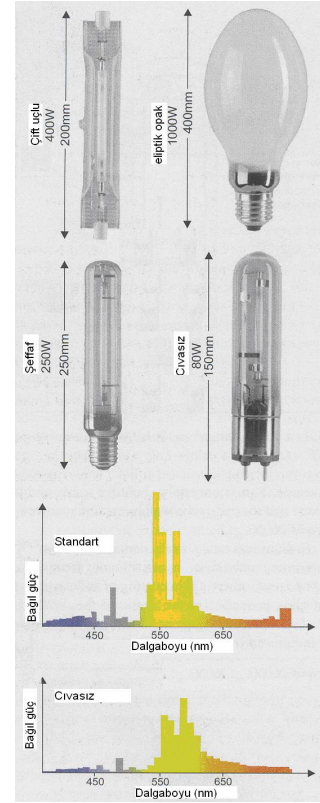
2.3.5 Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lambalar

Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar 5-10 kPa basınçta çalışırlar. Yüksek basınçlarda sodyumun oldukça aşındırıcı olmasından dolayı seramik deşarj tüpü kullanılmaktadır. Deşarj tüpü bir cam balon içine yerleştirilir.

Yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba iç yapısı, lamba örnekleri ve ışık spektrumu Şekil 2.17 ve Şekil 2.18’de görülmektedir.



Şekil 2.17 Yüksek basınçlı sodyum buharlı lampa iç yapısı

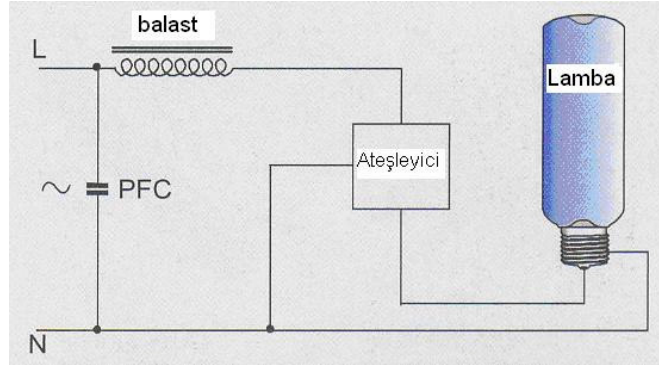


Şekil 2.18 Yüksek basınçlı sodyum buharlı lampa örnekleri ve ışık spektrumları

Lampa güçleri 35W-1000W aralığında değişmektedir. Etkinlik faktörü balast kaybı dahil 70-150 lm/W'tır, lampa gücü arttıkça etkinlik faktörü de artmaktadır. Sodyum basıncı artırıldığında renksel geri verim artarken etkinlik faktörü azalmaktadır. Ksenon basıncı artırılarak etkinlik artırılabilir ancak bu durumda lambanın çalışması zorlaşmaktadır. Lampa ömrü 10000-24000 saat arasındadır. Renksel geriverim standart lambalar için 25, orta seviyedeki lambalar için 60, iyileştirilmiş renk versiyonları için 85'tir. Daha iyi renksel geriverimi olan lambaların ömrü de azalmaktadır [22].

Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların ateşlenmesi karmaşık bir işlemdir. Başlangıçta ksenon ve sodyum-cıva amalgamından oluşan bir karışım bulunmaktadır. 20 kPa basınçtaki ksenon deşarjı başlatır, cıva buharı (ısındığında 60kPa basınca ulaşır) basıncın artmasını sağlar. Isınma süresi yaklaşık 10 dakikadır, ve yeniden ateşleme 1 dakika içinde gerçekleşebilir [22].

Ateşleme gerilimi transformatör ile sağlanamayacak kadar yüksektir. Bu lambaların ateşlenmesi için “ateşleyici” adı verilen cihazlar kullanılır. Lamba elektrik devresi Şekil 2.19’da görülmektedir.



Şekil 2.19 Yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba elektrik devresi

Enerji tasarrufu yapabilmek amacıyla, mevcut civa buharlı lambalı armatürlerde hiçbir teçhizat değişikliği yapmadan sadece lamba değiştirilerek kullanılabilen ateşleyicisiz yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar da geliştirilmiştir. 125W, 250W ve 400W gücündeki yüksek basınçlı civa buharlı lamba teçhizatı ile kullanılabilen sırasıyla 110W, 210W ve 350W gücündeki bu lambalarla %15 daha az enerji tüketilirken, %35 daha fazla ışık elde edilebilmektedir. Ancak sadece eski civa buharlı lambalı tesisatların iyileştirilmesi amaçlı geliştirilen bu lamba tipinin yeni bir tesisatta kullanılması doğru değildir [25].

TEDAŞ Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lambalar Teknik Şartnamesi ile yol, cadde, sokak, meydan aydınlatmalarının tamamında parlak beyaz-sarı renkte ışık yayan bu lambaların en verimli tipi olan şeffaf cam tüplü olanların kullanılması zorunlu hale getirilmiştir [23].

Bu tez kapsamında yapılacak olan çalışmalarda da şeffaf cam tüplü yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar kullanılacaktır.

2.4 Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lambaların Çalıştırılması İçin Gerekli Yardımcı Elemanlar

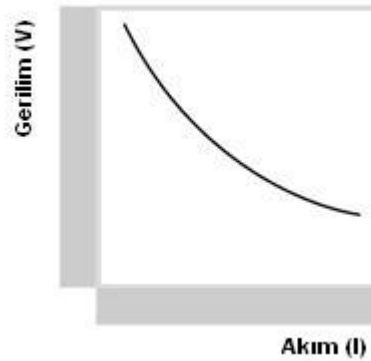
Diğer deşarj lamba türlerinde olduğu gibi yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar da doğrudan şebeke geriliminden beslenemezler. Lamba devresine çeşitli elektrik veya elektronik cihazlar eklenerek lambanın düzgün şekilde çalışması sağlanır.

Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalarda, lamba akımı arttıkça lamba gerilimi düşeceği için akımın sınırlandırılması, şebeke geriliminin sıfır geçişlerinden etkilenmemesi, normal çalışma geriliminden daha yüksek olan ateşleme geriliminin sağlanması gerekmektedir.

Bu fonksiyonları gerçekleştirebilmek için, direnç, şok bobini ve transformatörlerden oluşan balastlar, kompanzasyon kondansatörleri, filtre bobinleri ve ateşleyiciler kullanılmaktadır.

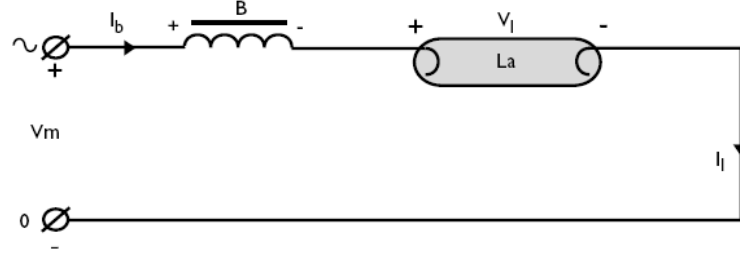
2.4.1 Balast

Akım sınırlayıcı bir cihaz olmadığında (lamba gerilimi = şebeke gerilimi), lamba akımındaki küçük bir yükselme, lamba geriliminin düşmesine neden olacaktır. Ancak lamba şebeke geriliminden beslendiği için gerilimi düşmeyecek, bu nedenle akım daha da artacaktır. Bu artan akım lambanın arızalanmasına ya da sigortanın atmasına neden olacaktır. Benzer şekilde lamba akımında ufak bir azalma olduğunda, gerilim yükselecek, ancak şebeke geriliminden daha fazla artamayacağı için bu kez akım daha da azalacak ve lamba düzgün çalışmadığı için sönecektir. Deşarj lambaları için akım gerilim değişimi Şekil 2.20'deki gibi olmaktadır.



Şekil 2.20 Deşarj lambaları için akım gerilim karakteristikleri

Şekil 2.21'deki gibi, lamba ve besleme arasına yerleştirilen balast lamba üzerinden akan akımı sınırlar. Böylece balast gerilimi ve empedansı oranında lamba akımı sabitlenecektir.



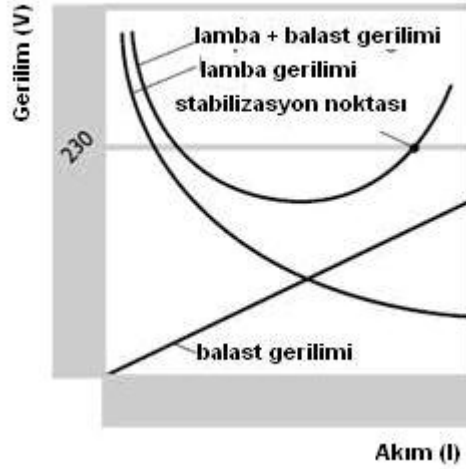
Şekil 2.21 Balast ile akımın sınırlandırılması

Balast gerilimi, şebeke gerilimi ve lamba gerilimi arasındaki fark kadar olacağından maksimum lamba akımı şebeke gerilimi ile sınırlandırılmış olur. Bu durumda devrenin akım gerilim karakteristiği Şekil 2.22’deki gibi olacaktır.

$$I_{\text{lamba}} = I_{\text{balast}} \quad (2-23)$$

$$I_{\text{balast}} = U_{\text{balast}} / Z_{\text{balast}} \quad I_{\text{lamba}} = (U_{\text{şebeke}} - U_{\text{lamba}}) / Z_{\text{balast}} \quad (2-24)$$

$$U_{\text{balast}} = U_{\text{şebeke}} - U_{\text{lamba}} \quad (2-25)$$



Şekil 2.22 Balastlı bir devrenin akım/gerilim karakteristiği

Balastların bir diğer önemli fonksiyonu da lamba gücünü belli sınırlarda tutarak, lamba katotlarında fazla ısınma olmasını önlemek böylece lamba ömrünü uzatmaktır. Lamba gücü lamba akımı, lamba gerilimi ve lamba faktörü olarak bilinen bir sabitin çarpımına eşittir.

$$P_{\text{lamba}} = U_{\text{lamba}} \cdot I_{\text{lamba}} \cdot \alpha_{\text{lamba}} \quad (2-26)$$

Lamba faktörü α_{lamba} , lambanın şekline, gerilimine ve akımına bağlı olarak değişir. Elektromanyetik balast kullanıldığında yaklaşık olarak 0,8’dir.

Lamba gücü (dolayısıyla ışık akısı) temel olarak lamba akımına bağlıdır.

Şebeke geriliminin seviyesi ve balastın empedansı da etkili olmaktadır. Şebeke geriliminin frekansı balast şokunun empedansına etki eder.

$$Z=wL \quad (2-27)$$

$$w=2\pi f \quad (2-28)$$

Z: empedans

L: endüktans

f: frekans

Balast endüktansı, bakır sargıların sayısı ile çekirdeğin büyüklüğüne ve malzemesine bağlıdır. Dolayısı ile daha yüksek frekanslarda daha küçük balastlar üretmek mümkün olmaktadır. Elektromanyetik balast kullanıldığında 50 Hz şebeke frekansı ile çalışıldığından daha büyük balastlar gerekli olurken, yüksek frekanslı balastlar daha küçük boyutlarda olabilmektedir. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalarla birlikte çalışabilecek balastlar iki grupta toplanmaktadır [26].

2.4.1.1 Reaktör balastlar

Şok bobinleri deşarj lambaların akımını sınırlamak için sıkça kullanılırlar. Bir kondansatöre oranla daha yüksek kayıpları vardır. Ancak 50 Hz frekansta lamba akımında çok daha az bozulma olur. Ayrıca bir ateşleyici ile birlikte kullanıldığında lamba için gerekli olan gerilim darbesini sağlarlar.

Pratikte, şok balastlar bir demir çekirdek etrafına sarılmış bakır tellerden oluşur.

Bu balastların empedansı şebeke gerilimine ve frekansına, lamba tipi ve gerilimine uygun olarak seçilmelidir. Farklı bir deyişle her bir lamba tipinin, farklı şebeke gerilimlerinde çalışmak üzere uygun empedans değerlerini sağlayacak farklı şok bobini bulunmaktadır.

Şok bobinleri her tip deşarj lambası ile birlikte kullanılabilir, ancak şebeke gerilimi lamba deşarj geriliminin 2 katı olmalıdır [26].

Üstünlükleri:

- Güç kayıpları direnç balastlara göre daha azdır.
- Basit bir devredir, balast lambaya seri olarak bağlanmaktadır.

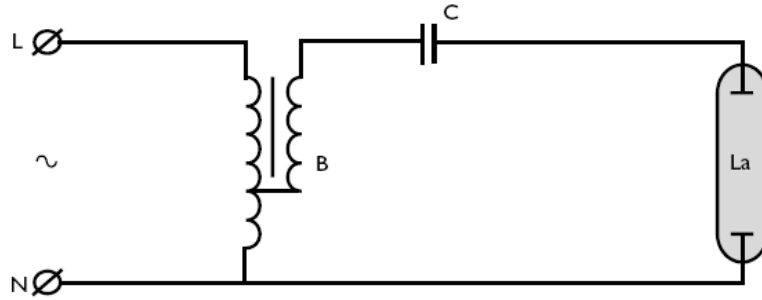
Sakıncaları ise:

- Uygulanan gerilime bağlı olarak lamba akımında faz kayması oluşabilir, güç faktörü düzeltmesi yapmak gerekir.
- Ateşleme akımı anma akımının 1,5 katı kadar yüksektir.
- Şebeke gerilimindeki dalgalanmalardan etkilenmektedir.

2.4.1.2 Sabit Güçlü Ototransformatör Balastlar (CWA)

Özellikle ABD’de civa buharlı ve yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar ile birlikte sabit güçlü balastlar (constant wattage autotransformer ballasts) kullanılmaktadır. Bu balastlar, lambaya seri bağlı bir ototransformatör ve kondansatörden oluşur [22, 26]. Şekil 2.23’de örnek bir balast devresi görülmektedir.

Kondansatör sayesinde besleme gerilimindeki değişimlerden daha az etkilenilir. Kondansatör hem balast görevi görmekte, hem de güç faktörünü düzeltmektedir.



Şekil 2.23 Sabit güçlü balast devresi

Bu balastların üstünlükleri:

- Şebeke geriliminde %10’a kadar olan değişimlerden lamba akımı etkilenmez.
- Güç faktörü kabul edilebilir seviyelerdedir.
- Düşük çalışma akımı vardır.

Sakıncaları ise şöyle sıralanabilir:

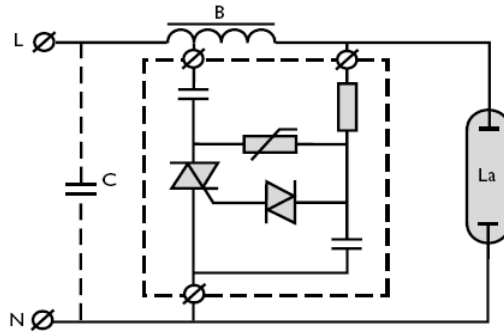
- Trafo güç kayıpları yüksektir.
- Ototransformatörler büyük, ağır ve pahalıdır.
- Ark gerilimindeki dalgalanmalar gücü etkiler.

2.4.2 Ateşleyici

Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaları ateşlemek için iki tip ateşleyici kullanılabilir, birincisi, yarı-paralel darbe tipi ateşleyiciler, ikincisi de yüksek frekanslı darbe ateşleyicilerdir [26].

2.4.2.1 Yarı-paralel ateşleyiciler

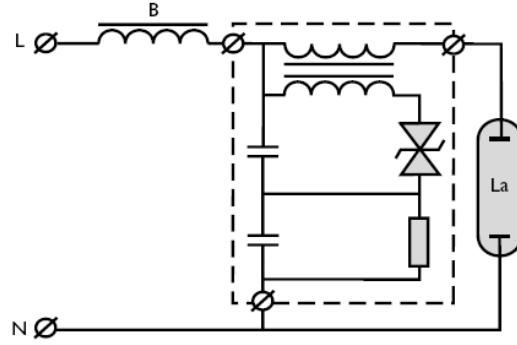
Bu ateşleyicilerde balast gerilim transformatörü olarak çalışarak ateşleme gerilimini üretir. Bu ateşleme yöntemi kullanıldığında, balast bobini yüksek gerilim darbelerine maruz kalacağı için iyi izole edilmiş olmalıdır. Şekil 2.24’de gösterilen bu ateşleyiciler ateşleyici bobini olarak balast bobinini kullandıkları için, toplamda balast ve ateşleyici sistemi daha ucuza mal olur. Ayrıca ateşleme darbesi daha yüksek enerji içereceğinden güvenilir bir ateşleme yöntemidir [26].



Şekil 2.24 Yarı-paralel ateşleyici

2.4.2.2 Yüksek frekanslı darbe (superimposed pulse) ateşleyiciler

Bu cihaz ile lamba gücüne göre 2,5kV ile 4 kV arasında değişen yüksek gerilimde darbe serileri üretilir. Şekil 2.25’de görülen bu sistemlerde ateşleme darbesi ayrı bir transformatör ile üretilir. Balast bobini yüksek gerilime maruz kalmayacağı için daha ucuz olabilmektedir. Ancak sistemin toplamı yarı-paralel sisteme göre daha pahalıdır. Çünkü seri bağlı olan ateşleyici üzerinden sürekli akım akacak ve sürekli kayıp oluşacaktır [26].

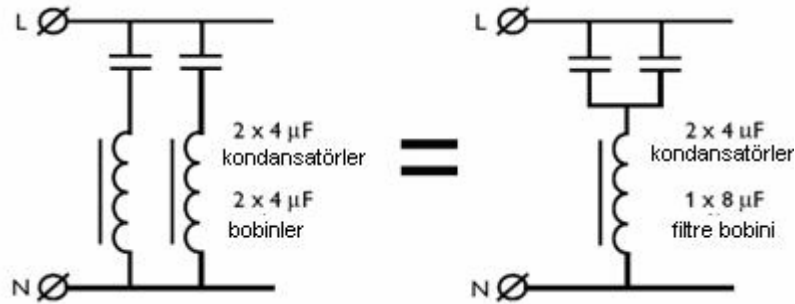


Şekil 2.25 Yüksek frekanslı darbe ateşleyici

2.4.3 Kompanzasyon kondansatörü ve filtre bobini

Balast ve ateşleyici dışında yüksek basınçlı deşarj lamba devrelerinde genellikle 0,5 civarında olan güç faktörünü düzeltmek için paralel bağlı bir kompanzasyon kondansatörü, 230V, 50 Hz beslemede faz nötr arasına ya da 380/400 V beslemede iki faz arasına bağlanır. Yarı-paralel ateşleme devrelerinde bu kondansatör ayrıca daha güvenilir ateşleme darbeleri üretilmesini de sağlar.

Bazı ülkelerde yol aydınlatmalarını anahtarlama, itfaiye ya da polis çağırmak, gece tarifesinde çalışacak olan kWh metreleri çalıştırmak gibi çeşitli amaçlarla şebeke hattı üzerinden yüksek frekanslı kontrol sinyalleri gönderilerek haberleşme yöntemi kullanılmaktadır. Lamba devresinde yer alan paralel kondansatörler bu sinyalleri bozabilmektedir. 110-3000 Hz aralığındaki kontrol sinyallerinin düşük reaktans gösteren kondansatörler üzerinden kısa devre olmaması için kondansatöre seri bağlı filtre bobinleri kullanılması gerekmektedir [26]. Kondansatör ve filtre bobinlerinin farklı bağlantı şekillerine ait örnekler Şekil 2.26’da verilmektedir.



Şekil 2.26 Filtre bobinlerini uygun kondansatörler ile gruplama yöntemleri

2.5 Yol Aydınlatmasında Kullanılan Armatürler

Aydınlatma armatürleri içlerindeki ışık kaynağından çıkan ışığı amaca en uygun biçimde dağıtan, yönlendiren ve aynı zamanda ışık kaynağını dış etkilere koruyan,

içindeki lamba için gerekli yardımcı elektriksel elemanları (duy, balast, ateşleyici, kondansatör vb.) koruyan, çeşitli montaj şekillerine sahip bir elemandır. Yol aydınlatmasında kullanılan armatürler içlerindeki ışık kaynağının ürettiği ışığı yola uygun şekilde dağıtacak, kamaşma meydana getirmeyecek ve düzenli bakılmak koşuluyla özelliklerini uzun süre koruyacak şekilde imal edilmelidir [7].

Ekonomik ve uzun ömürlü tesisatlar, ancak seçilen lambaların iyi korumalı, dış koşullardan en az etkilenen ve uygun fotometrik özelliklere sahip armatürlere yerleştirilmeleri ile elde edilebilir [25].

2.5.1 Fotometrik Özelliklerine Göre Armatürlerin Sınıflandırılması

Armatürlerin fotometrik değerleri denince, ışık dağılım yüzeyi veya eğrileri, armatür verimi ve parıltı, dolayısıyla kamaşma durumu anlaşılır. Uluslararası Aydınlatma Komisyonu'na göre armatürlerin ışık dağılım eğrileri A, B ve C olmak üzere üç farklı düzlem için verilebilir. Yol aydınlatmasında kullanılan armatürlerin ışık dağılım eğrileri ve hesaplarda kullanılan ışık şiddeti değerleri armatürden geçen düşey eksen dönme eksenini olarak alan C düzlemlerindeki verilerdir. Armatürler, yayılım, saçılım ve kamaşma derecesine göre üç farklı gruba ayrılır. Özellikle kamaşma, yol aydınlatmasında trafik güvenliği ve konforu açısından çok önemli olduğu için, kullanılacak armatürlerin kamaşmayı sınırlandıracak boyutta olması gerekmektedir. İstenilen parıltı düzeylerinin az sayıda armatür ile sağlanabilmesi için, ışık şiddeti değerleri yoğun ve yaygın dağılımlı armatürlerin kullanılması amaçlanır. Ancak bu tip yoğun ve yaygın ışık dağılımları da görüş güvenliği açısından son derece önemli olan kamaşma tehlikesini ortaya çıkarır [9].

Kamaşma kontrol altına alınarak, verimli bir aydınlatma yaratılabilmesi armatürlerin ışık dağılım eğrilerine kumanda edilmesi ile mümkün olabilmektedir. CIE önerilerinde, armatürler kamaşma derecesi bakımından $C=0^\circ$ ve $C=20^\circ$ düzlemlerindeki ışık dağılım eğrilerinin şekli ve değerlerine göre Tablo 2-6'daki gibi ekranlı, yarı ekranlı ve ekransız olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır. Tablodaki ışık şiddeti değerleri, armatür içindeki lambanın ışık akısı 1000 lm kabul edilerek verilmektedir [9].

Tablo 2-6 CIE'ye göre armatürlerin sınıflandırılması

Armatür Tipi	I_{80}	I_{90}	I_{max} 'in doğrultusu (γ açısı)
Ekranlı	30 cd	10 cd	0-65
Yarı Ekranlı	100 cd	50 cd	0-75
Ekransız	*1000 cd		

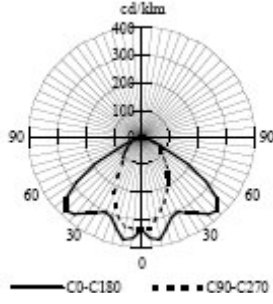
*Işık şiddeti en fazla 1000 cd olabilir.

I_{80}° : $C=0^{\circ}$ ve $C=20^{\circ}$ 'lik düzlemlerde düşeye göre $\gamma=80^{\circ}$ 'lik açı altındaki en büyük ışık şiddeti değeri (cd/1000 lm cinsinden).

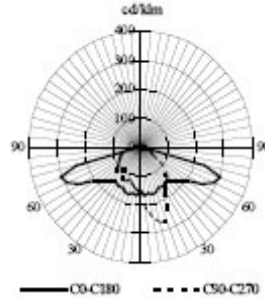
I_{90}° : $C=0^{\circ}$ ve $C=20^{\circ}$ 'lik düzlemlerde düşeye göre $\gamma=90^{\circ}$ 'lik açı altındaki en büyük ışık şiddeti değeri (cd/1000 lm cinsinden).

γ : Maksimum ışık şiddetinin (I_{max}) olduğu açı.

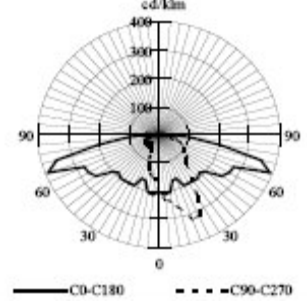
TEDAŞ Malzeme Yönetimi ve Satın Alma Dairesi Başkanlığı'nca Eylül 2006'da uygulamaya konulan (Mart 2008'de revize edilerek yeni bir taslak oluşturulmuştur) "Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi"nde de armatürlerin kamaşma kontrolleri " $50\text{cd}/1000\text{lm} < I_{80} \leq 100\text{cd}/1000\text{lm}$, $30\text{cd}/1000\text{lm} < I_{90} \leq 50\text{cd}/1000\text{lm}$ ve maksimum ışık şiddetinin düşeyle yaptığı açı $65^{\circ} < \gamma_{maks.} \leq 75^{\circ}$ arasında olmalıdır" ifadesi yer almaktadır [27]. Bu da CIE sınıflandırmasına göre yarı ekranlı armatür tipine karşılık gelmektedir. Ekranlı, yarı-ekranlı ve ekranlı tip armatürlere ait ışık dağılım eğrileri sırasıyla Şekil 2.27, Şekil 2.28 ve Şekil 2.29'da verilmiştir [9].



Şekil 2.27 Ekranlı tip armatüre ait ışık dağılım eğrisi



Şekil 2.28 Yarı ekranlı tip armatüre ait ışık dağılım eğrisi



Şekil 2.29 Ekransız tip armatüre ait ışık dağılım eğrisi

TEDAŞ Malzeme Yönetimi ve Satın alma Dairesi Başkanlığı Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi'nin 2008 taslağında ayrıca armatür verimine değinilmiş ve "Armatürden çıkan ışık akısının (lümen) armatür içindeki lambanın ışık akısına oranı olarak hesaplanan verim değeri minimum %75 olacaktır. Armatürlerin üst yarı uzaya gönderdikleri ışık akısı oranı (ULOR) %10'dan fazla olmayacaktır" ifadeleri yer almıştır [27].

2.5.2 IP Sınıflarına Göre Armatürlerin Sınıflandırılması

Aydınlatma armatürleri yabancı cisimler, toz ve rutubete karşı koruma derecelerine bağlı olarak IP (International Protection) numaralarına göre sınıflandırılmaktadır.

IP sınıfları "IP (X₁; X₂)" şeklinde iki rakamla verilmektedir. Birinci rakam yabancı cisim ve toz girişine; ikinci rakam ise su sızdırmazlığına karşı koruma sınıfını ifade etmektedir [25]. Armatürlere ait IP koruma sınıfları Tablo 2-7'de verilmektedir.

Tablo 2-7 Armatürlerin IP Koruma Sınıfları

Kıatı cisimlere karşı koruma		Sıvı maddelere karşı koruma	
Birinci rakam	Koruma derecesi	İkinci rakam	Koruma derecesi
0	Koruma yok	0	Koruma yok
1	50mm' den büyük çaplı kıatı cisimlere karşı koruma	1	Dik düşen su damllarına karşı koruma
2	12mm' den büyük çaplı kıatı cisimlere karşı koruma	2	15° lik açiya kadar eğik damlayan suya karşı koruma
3	2.5mm' den büyük çaplı kıatı cisimlere karşı koruma	3	60° lik açiya kadar eğik damlayan suya karşı koruma
4	1 mm' den büyük çaplı kıatı cisimlere karşı koruma	4	Her yönden gelen su damllarına karşı koruma
5	Toza karşı koruma	5	Su püskürtmesine karşı korumalı
6	Toza karşı tam koruma	6	Şiddetli deniz dalgalarına karşı korumalı
		7	Suya batırılmalara karşı koruma
		8	Basınç altında uzun süre suda kalmaya karşı koruma

Her türlü atmosferik ve kirlilik koşullarının geçerli olduğu dış mekanlarda gerçekleştirilen yol aydınlatmalarında kullanılan aydınlatma armatürlerinin koruma sınıfları (IP - International Protection - dereceleri) yüksek olmak zorundadır [25].

TEDAŞ Malzeme Yönetimi ve Satın alma Dairesi Başkanlığı “Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi”nde Armatürün TS 3033 EN 60529’a göre koruma sınıfı;

- Optik Bölümü için en az IP 65,
- Teçhizat Bölümü için en az IP 43

olacaktır denilmiştir [27].

2.5.3 Armatürlerin Bakım-İşletme Faktörü

Tesisatlarda kullanılan armatürlerin IP koruma sınıfına, tesisatın bulunduğu bölgenin kirlenme miktarına ve yapılacak bakım sıklığına bağılı olarak “Bakım-İşletme Faktörü” belirlenir. Tablo 2-8’de verilen bu değerler hesaplarda kullanılır ve bakım

işlerinin düzenli yapılması ile istenen aydınlatma kriterlerinin sürekliliği sağlanır [11].

Tablo 2-8 CIE'ye göre armatürlerin bakım işletme faktörü

IP No.	Kirlenme Kategorisi	Bakım aralığı (yıl)				
		1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
IP2X	Yüksek	0.53	0.48	0.45	0.43	0.42
	Orta	0.62	0.58	0.56	0.54	0.53
	Düşük	0.82	0.80	0.79	0.78	0.78
IP5X	Yüksek	0.89	0.87	0.84	0.80	0.76
	Orta	0.90	0.88	0.86	0.84	0.82
	Düşük	0.92	0.91	0.90	0.89	0.88
IP6X	Yüksek	0.91	0.90	0.88	0.85	0.83
	Orta	0.92	0.91	0.89	0.88	0.87
	Düşük	0.93	0.92	0.91	0.90	0.90

3 YOL AYDINLATMASI OTOMASYON SİSTEMLERİ

Standart yol aydınlatmaları genellikle zaman ayarlı ya da foto elektrik kontroller ile anahtarlanmakta ve gün ışığı bulunmayan saatlerde tesis edilmiş olan lambalar sürekli aynı güçte çalışarak aynı ışık akısını vermektedirler. Ayarlanabilir yol aydınlatması (adaptive road lighting) olarak adlandırılan sistemlerde ise, trafik yoğunluğunda, farklı meteorolojik koşullarda, kazalar gibi beklenmeyen durumlarda, lambaların ışık akısı artırılıp azaltılarak yol üzerinde o anki koşullara uygun parlaklığı düzeyi sağlanmaktadır.

Yol aydınlatması otomasyon sistemlerinin bir diğer fonksiyonu da lamba durumlarının görüntülenebilmesidir. Yol aydınlatma sistemlerinde enerji tüketim giderleri dışındaki önemli bir maliyet bakım çalışmalarıdır. Lambaların performansını gözlemek için karanlık saatlerde yolların devriye gezilmesi ve gündüz saatlerinde onarım çalışması için tekrar gidilmesi gerekmektedir. Otomasyon sistemleri kullanıldığında daha iyi bir hizmet verilerek, bakım masraflarının azaltılması sağlanabilmektedir.

Bu bölümde, yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar için loşlaştırma teknikleri ve uzaktan izleme için gerekli olan haberleşme teknolojileri anlatılacaktır.

3.1 Yüksek basınçlı Sodyum Buharlı Lambalar İçin Loşlaştırma Teknikleri

Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların loşlaştırılması iki şekilde yapılabilmektedir. Birincisi kademeli loşlaştırma ikincisi ise sürekli loşlaştırma yöntemidir [28].

3.1.1 Kademeli Loşlaştırma Teknikleri

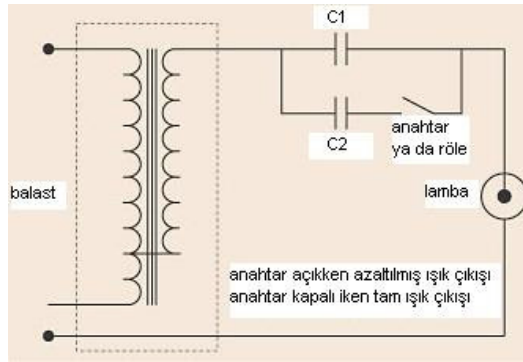
Kademeli loşlaştırma, ışık akısının önceden belirlenmiş seviyeler arasında değiştirilmesidir. Genellikle ışık kaynağı, ya %100 ya da %50 ışık akısı sağlayacak şekilde kontrol edilir. İki kademeden fazla kademe oluşturulabilir, ancak belirlenen kademeler arasındaki farklı seviyelerde ayar yapılamaz. Yüksek basınçlı sodyum

buharlı lambaların kademeli olarak loşlaştırılması için uygulanan teknikler aşağıda anlatılmıştır.

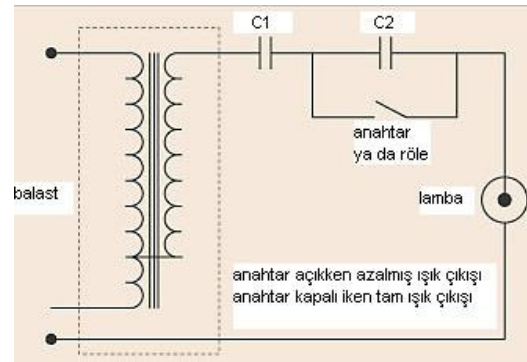
3.1.1.1 Sabit Güçlü Ototransformatör Balastlar ile Kademeli Loşlaştırma

Kademeli loşlaştırma yapmak için sabit güçlü ototransformatörlü (CWA-constant wattage autotransformer) manyetik balast ve kademe sayısına bağlı olarak 1 ya da 2 kondansatörden oluşan devreler kullanılmaktadır. Kondansatörlerin röle ile anahtarlanması sonucunda, sistem empedansı artırılıp lamba akımı ve gücü azaltılır.

Kondansatörlerin paralel (Şekil 3.1) ya da seri (Şekil 3.2) olarak bağlanması mümkün olabilmektedir. Bağlantı şekli kullanılan kontrol sistemine göre belirlenir.



Şekil 3.1 Paralel bağlı kondansatör kullanılan kontrol devresi



Şekil 3.2 Seri bağlı kondansatör bulunan kontrol devresi

Kademeli loşlaştırma sistemleri elle kumandalı anahtarlar, zamanlayıcılar, hareket algılayıcıları ya da fotoseller ile aktif hale getirilebilmektedir.

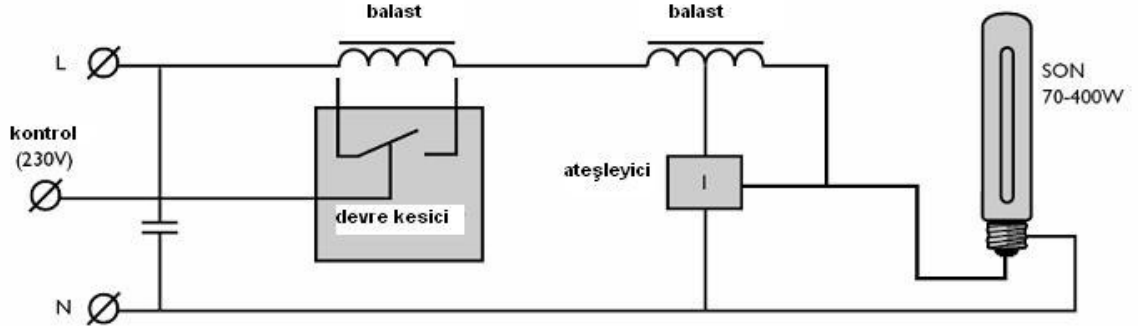
Kapasitif anahtarlama yöntemi sayesinde iki ya da üç farklı seviyede aydınlatma yapılması mümkün olmaktadır. Bu seviyeler %100 ve %50 arasında bir ya da iki kademe olarak ayarlanmaktadır.

İki kademeli loşlaştırma enerji tasarrufu ve güvenlik açısından uygun bir yöntemdir. Işık kaynağının tipine ve gücüne göre %30-%60 güce karşılık, %15-%40 ışık akısı elde edilebilmektedir. Loşlaştırma süresine göre bu sayede %40-%70 gibi bir enerji tasarrufu sağlanabilmektedir [28].

3.1.1.2 Seri Bağlı İki Manyetik Balast Kullanılarak Kademeli Loşlaştırma

İki balastın seri bağlanarak kullanılması da mümkündür. Şekil 3.3'de görüldüğü gibi, kontrol devresi ikinci balastı devre kesici üzerinden devreye sokar ya da devreden çıkarır, böylece iki farklı aydınlatma kademesi elde etmek mümkün olur. Loşlaştırıcı

balast kısa devre edildiğinde sistem %100 seviyesindedir, loşlaştırma balastı, standart balasta seri bağlı hale getirildiğinde ışık akısı %50'ye düşer, bu durumda şebekeden çekilen güç nominal değerinin yaklaşık %65'i olmaktadır [26].



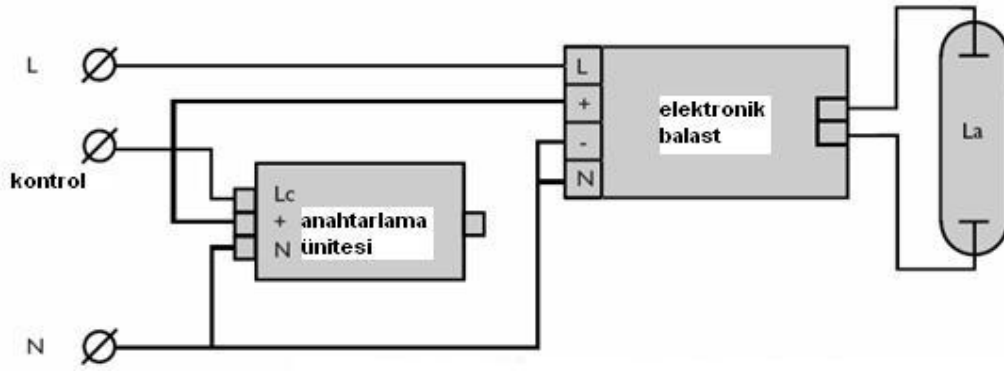
Şekil 3.3 Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların iki balast ile kademeli olarak loşlaştırılması

3.1.1.3 Elektronik Balast İle Kademeli Loşlaştırma

Başka bir bölümde anlatılacak olan elektronik balastlar, sürekli loşlaştırma yapan kontrol cihazlarıdır. Elektronik balastları kontrol etmek için girişine bir DC (doğru akım) kontrol gerilimi uygulamak gerekir. Ancak DC kontrol gerilimi uygulamak mümkün olmayan durumlarda, kontrol için bir anahtarlama ünitesi üzerinden faz gerilimi kullanılabilir. Ancak bu durumda elektronik balast ile sürekli değil sadece %100 ya da %50 ışık akısı çıkışı sağlayacak şekilde kademeli olarak loşlaştırma yapılabilmektedir.

Şekil 3.4'de Philips HID-SDU anahtarlama ünitesi ile kontrol edilen elektronik loşlaştırma balastına ait devre görülmektedir.

198-260V faz gerilimi ile loşlaştırma sistemi kontrol edilir ve anahtarlama ünitesi (SDU) tipine göre faz gerilimi varken %100, yokken %50 ışık akısı ya da faz gerilimi varken %50 yokken %100 ışık akısı sağlanacak şekilde kademeler ayarlanır [26].



Şekil 3.4 Elektronik balast ve kontrol ünitesi

3.1.2 Sürekli Loşlaştırma Teknikleri

Lambaların beslendiği şebeke gerilimini, akımını ya da sinüs dalgasının genliğini değiştirerek lamba ışık akısı çıkışı sürekli olarak ayarlanabilmektedir. Lambaların beslendiği elektrik panosuna yerleştirilen bir kontrol ünitesi ile lambalar grup halinde de loşlaştırılabilmektedir. Kontrol için transformatör, reaktör ya da sinüs dalga modifikasyonu yöntemlerinden biri kullanılabilir [28].

Bir diğer yöntem olarak, elektronik kontrol balastları ile sürekli loşlaştırma yapılabilmektedir.

3.1.2.1 Değişken kademe transformatörü ile loşlaştırma

Yükün beslendiği gerilimi düşürerek lambaların ışık akısı azaltılır. Genellikle sabit güçlü balastlar (CWA) ile birlikte kullanılırlar. Anma gücünü %50'ye kadar azaltabilirler. Transformatörle kontrol edilen devrelerde lambanın beslendiği hat üzerine bir transformatörün sekonder sargısı seri bağlanır, transformatörün primer girişi kontrol edilerek sekonder sargıda istenilen genlik ve fazda bir gerilim elde edilir. Lamba gerilimi şebeke gerilimi ile transformatör sekonder sargısının gerilimlerinin toplamı olacağından lamba gerilimini değiştirmek mümkün olur. Transformatör ile loşlaştırma yapıldığında çıkış sinyali sinüsoidaldir ve harmonik üretmezler. Bu üstünlüklerine karşın, elektronik rakiplerine göre daha ağır, büyük ve pahalı olmaları gibi sakıncaları da vardır. Rensselaer Politeknik Enstitüsü (Rensselaer Polytechnic Institute) bünyesinde yer alan Aydınlatma Araştırma Merkezi (Lighting Research Center) tarafından yapılan araştırmalara göre, gerilimin azaltılması lamba ve balast performansına etki edebilmektedir [22].

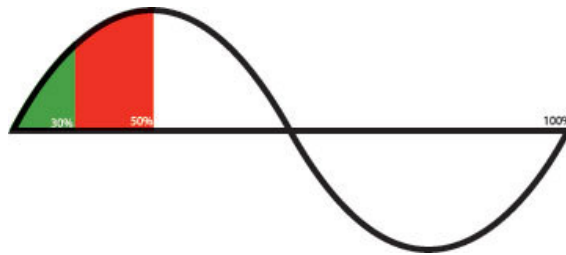
3.1.2.2 Değişken reaktör

Bu cihaz gerilimi sabit tutarken, akımı azaltmakta ve lamba anma gücünü %30'a kadar azaltabilmektedir. Reaktör kullanılan kontrol sistemlerinde kullanılan doyma reaktörü (saturable reactor) üç ayrı sarımdan oluşan bir endüktanstır. İlk iki sarım farklı yönlerde sarılmış ve birbirine seri olarak bağlanmıştır. Bu ikisinin arasında yer alan kontrol sarımını bir DC kaynağa bağlanır. DC akım değiştiğinde reaktörün empedansı değişir, buna bağlı olarak reaktöre seri olarak bağlı olan lambanın akımı da değişir [22].

3.1.2.3 Sinüs dalga modifikasyonu

Bu elektronik kontrol sistemleri sinüs dalga şeklinin bir kısmını her bir döngüde iki kez keserek gerilimin etkin (RMS) değerini azaltır ve lamba anma gücünü %50'sine kadar azaltabilirler. Faz kesme(phase-chopping) yöntemi olarak da adlandırılabilir olan bu yöntem, bir anahtarın çok hızlı bir biçimde on-off yapılmasına benzemektedir. Şekil 3.5'de faz kesme yöntemi ile çalışan bir loşlaştırma cihazının çıkış dalga şekli görülmektedir. Siyah çizgi %100 güçteki dalga şeklini vermektedir. Kırmızı alan dalga şeklinin nasıl kesildiğini göstermektedir. Bu şekilde ışık akısını azaltmak mümkün olabilmektedir. Ancak lambalarda titreşim, vızıldama ve diğer elektronik cihazlar ile etkileşme ortaya çıktığı için, bu yöntem deşarj lambalarının loşlaştırılması için uygun değildir [29].

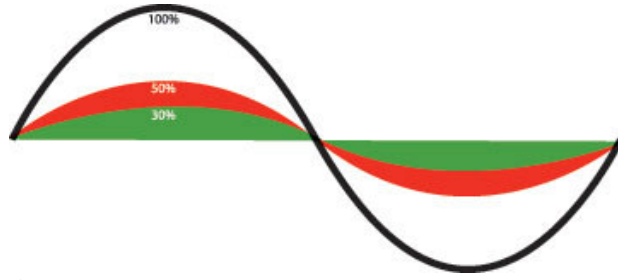
Rensselaer Politeknik Enstitüsü Aydınlatma Araştırma Merkezi'nin yaptığı testlerde güç kalitesini ve lamba, balast performansını da azaltabildikleri görülmüştür [28].



Şekil 3.5 Faz kesme yönteminde dalga şekli

Daha sonra geliştirilen bir yöntem ile sinüs dalga şeklinin genliğini azaltarak, kaynak ile aynı frekansta sinüs dalga çıkışı sağlanabilmektedir. Şekil 3.6'da bu yönteme ait dalga şekli görülmektedir. %100 güç çıkışında dalga şekli siyah hattı, %50 güç çıkışında kırmızı, %30 güç çıkışında ise yeşil hattı izlemektedir. Bu şekilde çıkışı her

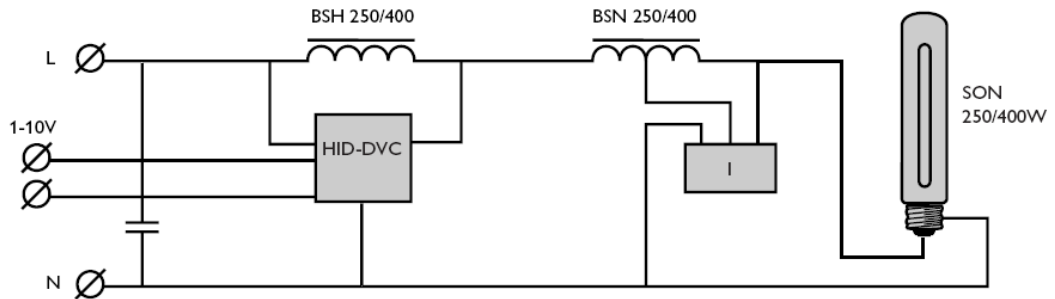
güç seviyesinde sürekli olarak azaltmak mümkün olabilmektedir. Bu yöntemde daha önceki faz kesme yönteminde karşılaşılan sorunlar ortaya çıkmamaktadır [29].



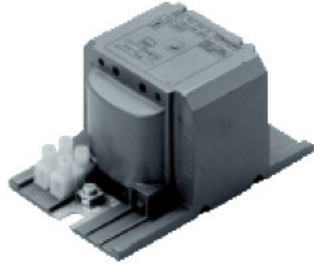
Şekil 3.6 Yeni faz kesme yöntemi ile oluşan dalga şekli

Şekil 3.7’de manyetik balast (BSN 250/400), ateşleyici ve yüksek basınçlı sodyum buharlı lambadan (SON 250/400) oluşan devreye, Philips Dynavision elektronik kontrol ünitesi ile kontrol edilen loşlaştırılabilir balast (BSH 250/400) eklenerek hibrit sistem olarak adlandırılan bir balast sistemi gösterilmektedir. Devrede yer alan loşlaştırılabilir balast Şekil 3.8’de görülmektedir. Şekil 3.9’da görülen Dynavision elektronik kontrol ünitesi faz kesme yöntemi ile çalışmaktadır.

Hibrit sistemlerde lamba ışık akısı %20 seviyesine azaltılırken, güç %35’e düşmektedir. 1-10V ya da DALI kontrol sinyali ile çıkış gücü kontrol edilmektedir [26].



Şekil 3.7 Hibrit elektronik balast sistemi



Şekil 3.8 Philips Dynavision BSH balast

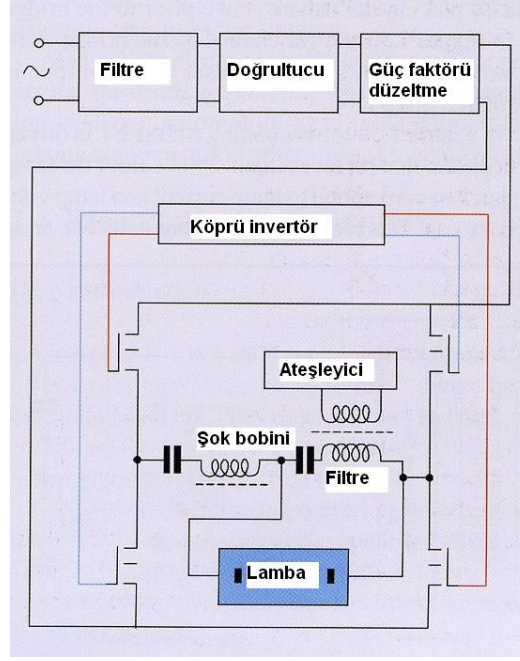


Şekil 3.9 Philips Dynavision elektronik kontrol ünitesi

3.1.2.4 Elektronik Loşlaştırma Balastları

Şekil 3.10’da temel hatlarıyla bir elektronik balast devresi görülmektedir. Elektronik balastlarda öncelikle şebeke gerilimini doğrultarak DC gerilim elde edilir. Daha sonra köprü invertör ile bu DC gerilimden istenilen frekansta AC gerilim elde edilir. İnvörtörde çok hızlı bir şekilde anahtarlama yapılarak ortalaması istenilen çıkış gerilimini sağlayan yüksek frekanslı kare dalgalar oluşturulur. Yüksek frekanslı anahtarlama nedeniyle elektronik balastların şebekeye gürültü vermesi ve diğer cihazlar üzerinde elektromanyetik etkileşime yol açması girişte kullanılan filtre ile engellenmektedir. Yine yüksek frekanslı bu gerilimin neden olduğu düşük güç faktörünün düzeltilmesi gerekir.

Bir kondansatör DC gerilimin yüke gitmesini önlerken bir bobin yüke giden akımı sınırlar. Elektronik balastlarda ateşleme işlemi de balast tarafından gerçekleştirilmektedir. Bunun için kullanılan yöntemlerden biri bastırma şokunu ateşleme transformatörünün sekonderi olarak kullanmaktır.



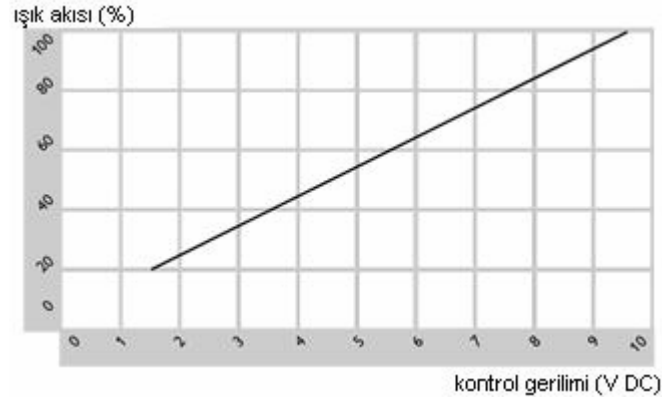
Şekil 3.10 Elektronik balast devresi

Elektronik balastların önemli bir üstünlüğü, lamba performansı hat gerilimindeki değişimlerden etkilenmeden lamba gücünü ayarlayabilmeleridir. Ayrıca, elektronik balastlar 50 Hz şebeke frekansını 10-20 kHz'e çıkararak deşarj lambalarında görülen fliker olayını giderirler. Yüksek frekanslarda deşarj sırasında daha fazla gaz iyonize olacağı için lamba etkinlik faktörü de artmaktadır.

Yüksek basınçlı deşarj lambaları ile birlikte kullanılan tüm elektronik balastlar aşırı sıcaklıkta ya da lamba arızasında devreyi kesecek şekilde tasarlanırlar [22].

Elektronik balastlar yenileme çalışmalarında maliyet etkin olmayabilirler, ancak yeni tesisatlarda oldukça önemli enerji tasarrufu sağlamaktadırlar [22].

Philips 70W, 100 W ve 150W yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar için tam elektronik kontrol balastları üretmektedir. Bu balastlarda analog 1-10V ya da DALI kontrol girişi bulunmaktadır. Lamba her zaman % 100 güç ile çalışmaya başlar ve ancak 5 dakika sonra loşlaştırma yapılabilir. Işık akısı %100-%20 arasında ayarlanabilmektedir, buna karşılık lamba giriş gücü %100-%35 arasında değişir. Şekil 3.11'de, Philips elektronik balast için ışık akısının kontrol gerilimi ile lineer olarak değiştiği görülmektedir.



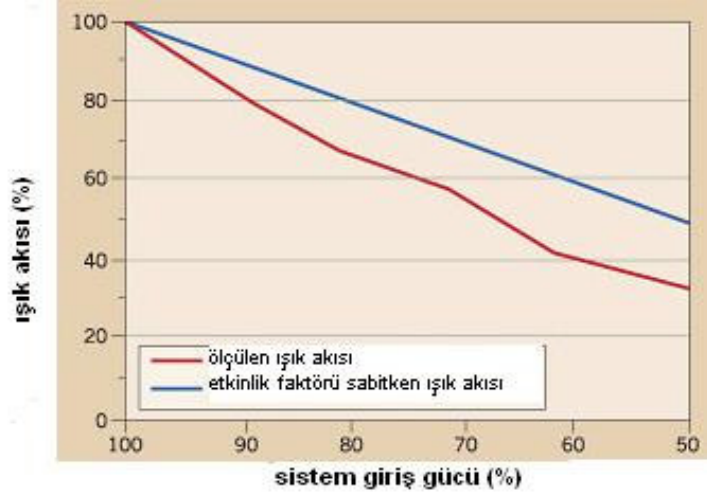
Şekil 3.11 Philips marka elektronik balastta kontrol gerilimine bağlı olarak ışık akısındaki değişim

3.2 Loşlaştırmanın Lamba Performansına Etkisi

Etkinlik faktörü, lamba ömrü, renk, uyumluluk ve fliker gibi performans ile ilgili kriterleri, lambaların loşlaştırılmasından etkilenmektedir.

3.2.1 Etkinlik faktörü

Kademeli loşlaştırma ya da pano seviyesinde loşlaştırma yapıldığında, ışık akısı güçteki azalma ile orantılı olarak değişmez. Işık akısı lamba gücüne oranla çok daha fazla azalmaktadır. Genellikle metal halide lambaların ışık akısındaki azalma, gücün 1,2-1,5 katı, yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalarda ise ışık akısındaki azalma, güçteki azalmanın 1,1-1,4 katı olmaktadır. Yani lamba loşlaştırıldıkça etkinliği düşmektedir. Şekil 3.12’de Rensselaer Politeknik Enstitüsü Aydınlatma Araştırma Merkezi’nin Ulusal Aydınlatma Ürün Bilgisi Programı (National Lighting Product Information Program - NLPPI) ile elde edilen, metal halojen lamba için sistem giriş gücü ile lamba ışık akısının değişimi görülmektedir [28].



Şekil 3.12 400 W Kaplamalı metal halojen lamba ışık çıkışının giriş gücüne göre değişimi.

Işık akısının sistem giriş gücüne oranı “etkinlik faktörü” olarak tanımlanmaktadır. Tablo 3-1’de 400 W kaplamalı metal halojen lamba için etkinlik faktöründeki değişimler görülmektedir [28].

Tablo 3-1 Metal halojen lambanın güç ile etkinlik faktörünün değişimi

Sistem Giriş Gücü (W)	Bağlı Etkinlik Faktörü (%)
439	100
393	91
354	82
302	79
260	67
247	59

3.2.2 Lamba Ömrü

Yüksek basınçlı deşarj lambaları anma gücünün %50’sinin altına loşlaştırıldıklarında, servis ömründe, etkinlik, renk ve ışık akısında azalma olabilir, ya da sönebilirler. Anma gücünün %50’sinin altına loşlaştırıldığında yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların ve metal halide lambaların ömrü %90 azalabilmektedir, dolayısıyla lamba garanti koşulları geçersiz hale gelebilmektedir.

Amerika’daki Ulusal Elektrik Üreticileri Derneği (The National Electric Manufacturers Association- NEMA, ABD), metal halide ve yüksek basınçlı sodyum

buharlı lambalar için maksimum loşlaştırılacak seviyenin %50 olmasını, ayrıca loşlaştırılmadan önce 15 dakika tam güçte çalıştırılmalarını önermektedir [28].

3.2.3 Renk

Lamba geriliminin azaltılması, deşarj tüpündeki sıcaklığın düşmesine neden olabilir ve buna bağlı olarak bazı elementler iyonize olmayabilir. Bu nedenle yüksek basınçlı deşarj lambaları loşlaştırılma sırasında renk değişimine ve renksel geri verimlerinde azalmaya uğrayabilirler. Metal halojen lambalar lamba renk karakteristikleri bakımından en fazla etkilenen lambalardır. Kaplamalı metal halojen lambaların renksel geri verimleri ve renk sıcaklıkları şeffaf olanlara göre biraz daha az etkilenmektedir. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar da loşlaştırıldıklarında renk sıcaklığında 50K ile 200K arasında bir azalma olabilmekte ve daha sarı görünmektedirler, ancak renksel geriverimlerinde çok az azalma olmaktadır [28].

3.2.4 Uyumluluk

Elektronik balastlar, şebeke gerilimini değiştirerek yapılan loşlaştırma uygulamaları için uygun değildirler. Bu tip sistemlerde harmonik akım üretilebilmekte ve güç faktörü düşük olmaktadır [28].

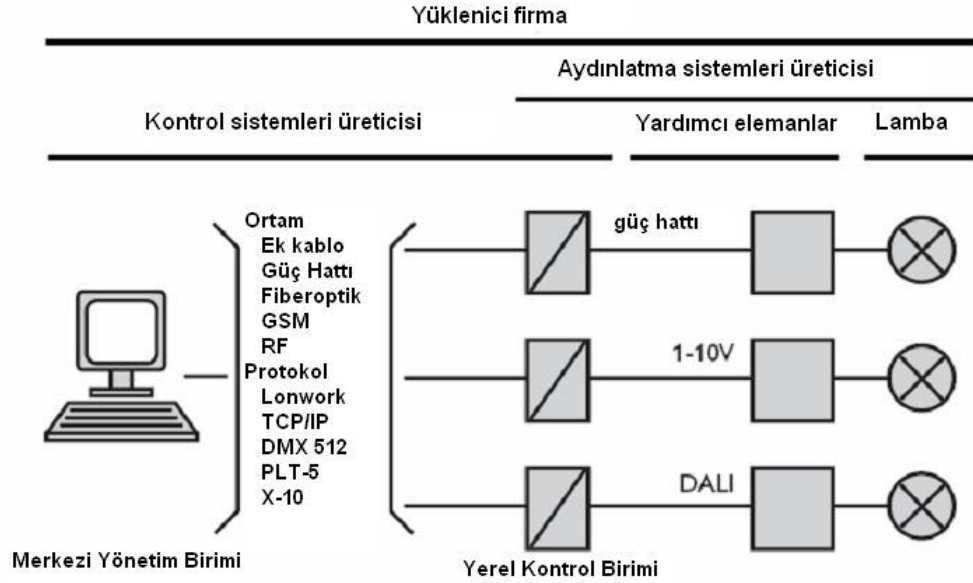
3.2.5 Fliker

50 Hz şebeke frekansındaki alternatif akım ile beslenen deşarj lambalarında ışık çıkışında dalgalanmalar oluşmaktadır. Fliker adı verilen bu durum, yüksek basınçlı deşarj lambalarının, özellikle yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların loşlaştırılması ile daha da belirginleşmektedir [28].

3.3 Haberleşme Sistemleri

Loşlaştırılabilen yol aydınlatması sistemleri, genel olarak aydınlatma yapılacak bölgede yer alan lamba, balast ve loşlaştırma cihazları, farklı aydınlatma bölgelerinde yerleştirilen kontrol üniteleri ve bu bölgesel kontrolleri yöneten ve izleyebilen merkezi yönetim sistemlerinden oluşmaktadır. Kontrol ünitelerinden gelen sinyaller ile lamba ışık akılarının ayarlanması, arıza durumu ve lamba ömrü gibi saha bilgilerinin merkezi yönetim birimi tarafından izlenebiliyor olması gibi pek çok işlevi gerçekleştirmek üzere tüm bu birbirinden bağımsız cihazların uygun yöntemler kullanarak birbiri ile haberleşiyor olması gerekmektedir.

Şekil 3.13’de örnek bir yol aydınlatma sisteminin kontrolü için kullanılacak haberleşme yöntemleri yer almaktadır.



Şekil 3.13 Haberleşme yöntemleri

3.3.1 Yerel Kontrol Birimi İle Loşlaştırma Cihazı Arasındaki Haberleşme

Yerel kontrol birimi ile ışık kaynaklarının loşlaştırılmasında kullanılan yardımcı elemanlar arasındaki haberleşme yöntemine göre sistemin özellikleri değişmektedir. Tablo 3-2’de farklı haberleşme yöntemlerine ait bir karşılaştırma tablosu bulunmaktadır.

Tablo 3-2 Yol aydınlatmasında kullanılan haberleşme yöntemlerinin karşılaştırılması

	Kontrol sisteminin basitliği	Loşlaştırma	Lamba arızası geri bildirme	Sistem raporlama	Esneklik
Güç hattı	++	İki kademe	Yok	Yok	-
1-10V	+	Sürekli	Yok	Yok	-
DALI	+/-	Sürekli	Var	Tam	++

3.3.1.1 Güç hattı üzerinden veri taşıma

Kontrol sinyallerinin güç hattı üzerinden taşınması konusundaki en eski yöntem dalga kontrolüdür (ripple control). Özellikle Avrupa’da yol aydınlatmalarının

anahtarlanması ve tarife değişikliklerine göre ölçüm cihazlarının kontrol edilebilmesi için mevcut şebeke hattı üzerinden veri taşıma yöntemi kullanılmaktadır.

Dalga kontrolünün üstünlüğü, ek bir hat çekilmesine gerek duyulmaması ve besleme ağının geniş bölgelerinde uygulanabilir olmasıdır. Çalışma prensibi şebeke hattı üzerine bir ses frekansı (AF) bindirmektir. Sinyalin şebeke ağı üzerine eklenmesi için frekans birkaç yüz Hertz mertebesinde olmalıdır.

Düşük-frekans (100-200 kHz) taşıyıcı sistemler yüksek gerilim iletim hatları üzerinden bir yada iki analog ses sinyalini ya da saniyede birkaç yüz bit hızında kontrol sinyalini kilometrelerce uzağa taşıyabilmektedir. Saniyede milyonlarca bit gibi daha yüksek hızlarda veri taşınabildiği gibi, daha kısa mesafelerde örneğin bir binanın sadece bir katında da veri taşımak mümkün olmaktadır.

Yol aydınlatması kontrolü için kullanılan güç hattı haberleşme yöntemi düşük hızda dar-bantlı haberleşme yöntemidir. 10-20 kV orta gerilim ya da 240/415 V alçak gerilim hatları üzerinden 15-500 kHz aralığında veri taşınabilmektedir.

Veri bitlerini oluşturmak için kısa süreli ses frekans sinyalleri kullanılır. Çok çeşitli standartlar olmakla birlikte en çok bilinenler SEMAGYR (Siemens ölçüm bölümü olan Landis & Gyr orijinli) ve Pulsadis'tir (Électricité de France).

Örneğin Pulsadis, 175 Hz taşıyıcı kullanır. Genlik nominal şebeke geriliminin %1'i yani 230V için 2,3 V'tur. 1 saniyelik bir sinyalin ardından 2,75 saniye boşluk veri serisinin başlangıcını belirtir. Alıcı başlangıç sinyalini alır. Veri serisi her biri 2,5 saniye süren 40 bitten oluşur. 2,5 saniyelik sürenin ilk 1 saniyesi boyunca 175 Hz sinyal varsa veri 1, yoksa veri 0 anlamına gelir. Veriler arasında 1,5 saniyelik boşluklar bulunmaktadır. Veriler farklı operatörler tarafından farklı anlamlandırılabilir. Fransa'da EDF Pulsadis tarife yönetimi için kullanılmakta ve sadece 5 numaralı bit "uyanma", 5 ve 15 numaralı bitler birlikte "maksimum talebin başlangıcı", sadece 15 numaralı bit ise "maksimum talebin sonu" anlamına gelmektedir.

Dalga kontrolü yaygın olarak kullanılmakla birlikte bazı sakıncaları da bulunmaktadır. Özellikle bir çok şebeke bir araya toplandıysa, çalışması için önemli bir yük oluşturacak güce ihtiyaç olur. Dalga sinyalinin kendisinden kaynaklanan bazı dezavantajlar da olabilmektedir. Faz kontrollü tristör loşlaştırıcılar kullanıldığında, bazı durumlarda dalga sinyali şebeke sinyalinin sinüs dalgasının sıfır geçişlerine etki

ederek, fliker olayına neden olabilmektedir. Bu durumla baş edebilmek için filtre devreleri kullanılmaktadır. Elektromanyetik balast kullanılan flüoresan yüklerin de istenmeyen flikere neden oldukları çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir [22].

Güç hattı üzerinden haberleşme yol aydınlatmalarında lamba ile anahtarlama kabini arasındaki haberleşmede kullanılmaktadır.

3.3.1.2 1-10V Analog Kontrol

Loşlaştırma cihazının girişine 1 ile 10 V arasında değişen doğru gerilim uygulanır. Girişe 10V gerilim geldiğinde, loşlaştırma cihazının çıkış gerilimi maksimum olacak şekilde ayarlanır. Aradaki gerilim seviyelerinde çıkış sinyali lineer olarak değişir. Örneğin 6V kontrol sinyali girişi %60 çıkışa karşılık gelmektedir. Burada çıkış ifadesi gerilim ya da ışık akısı miktarı olabilir.

Bir tek kontrol cihazı ile birden fazla balastı aynı anda kontrol etmek mümkündür. Gerilim ya da ölçülebilen diğer bir parametreyi değiştirerek kontrol yapan uzaktan kumandalı loşlaştırma sistemleri için kullanılabilecek en basit yöntemlerden biridir. Yüksek basınçlı deşarj lambaları bu yöntem ile %50 seviyesine kadar loşlaştırılabilmektedir.

Kontrol gerilimi olarak 10V seçilmesinin nedenleri şöyle sıralanabilir:

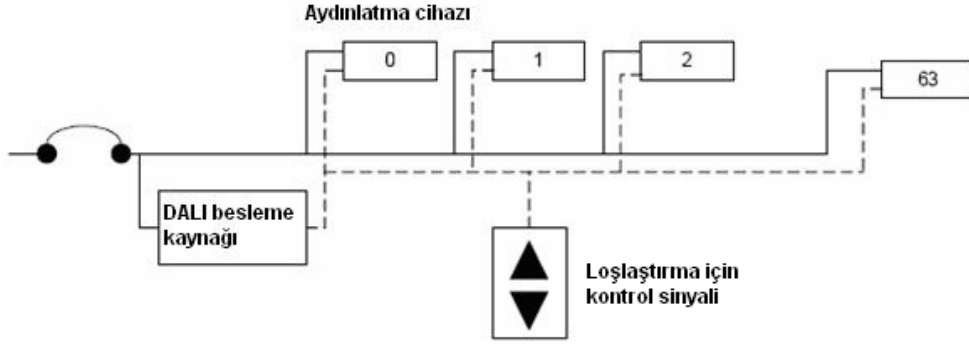
- Güvenli olacak kadar düşük, gürültü problemlerinden etkilenmeyecek kadar yüksek bir gerilimdir.
- Çıkış miktarının yüzdesi belli bir gerilim seviyesine karşılık gelecek şekilde ayarlandığında ifade kolaylığı sağlar (örneğin 5V=%50 çıkış).
- Birlikte kullanılan elektronik bileşenlerle uyumludur [22].

3.3.1.3 Dijital Adreslenebilir Aydınlatma Arayüzü (DALI):

“Digital Addressable Lighting Interface”(dijital adreslenebilir aydınlatma arayüzü) ifadesinin ilk harflerinden oluşan DALI protokolü, Avrupa’daki balast üreticilerinin dijital balast kontrolünün standartlaştırılmasına ihtiyaç duymaları üzerine geliştirilmiştir. Osram, Philips ve Helvar 1999 yılında bu konsepti geliştirmişler, daha sonra diğer üreticiler de bu gruba katılmışlardır [22].

Çift yönlü olarak haberleşme yapılabilen sistemlerde yerel kontrol birimi ile loşlaştırma cihazı arasındaki iki adet veri kablosu bir halka olarak isimlendirilir.

Şekil 3.14’de DALI haberleşme halkası görülmektedir. Bir halka üzerinden 64 adet cihaz kontrol edilebilmektedir. Halka iletkeninin enerjisi dijital sinyal oluşturacak şekilde kesilir ya da bırakılır. Halka üzerindeki 64 adet loşlaştırma cihazına ayrı bir kontrol sinyali gönderilerek 254 kademe loşlaştırma yapılabilir. Sistem üzerinden; 19 bit gidiş, 11 bitten oluşan dönüş mesajları iletilmektedir [30].



Şekil 3.14 Standart DALI haberleşme halkası ve loşlaştırma sinyali

Bu protokoller dışında farklı üreticilerin geliştirdiği özel protokoller de bulunmaktadır. Ancak bunlar yalnızca o üreticinin ürünü ile birlikte kullanılabilir ve kullanım esnekliği sağlamadıkları için tercih edilmemektedirler.

3.3.2 Merkezi Kontrol Ünitesi İle Yerel Kontrol Birimi Arasındaki Haberleşme

Merkezi Kontrol Ünitesi ile Yerel Kontrol Birimi arasında çok çeşitli protokoller ile haberleşmek mümkün olabilmektedir. Bu protokoller aşağıda kısaca açıklanmıştır.

3.3.2.1 Lonwork

Echelon Firması tarafından geliştirilmiş olan bir haberleşme platformudur. Bina otomasyonu, taşımacılık, endüstriyel uygulamalarda makinelerin kontrolü, şehir içi ve otoyol aydınlatmalarının kontrolü, elektrik tüketimi ölçümü, güvenlik sistemleri, yangın dedektörleri gibi çok çeşitli alanlarda uygulanabilmektedir. “Nöron chip” adı verilen 8 bit işlemci bulunan cihazların bir ağ üzerinden birbiri ile haberleşmesi sağlanır. Nöron chip farklı giriş verilerini algılayarak uygun bir çıkış sinyali oluşturur. Cihazların haberleşmesi “Lontalk” adı verilen bir protokole göre yapılır [31].

3.3.2.2 TCP/IP

TCP (Transmission Control Protocol) “İletim kontrol Protokolü”nün kısaltması, IP (Internet Protocol) ise “İnternet Protokolü”nün kısaltmasıdır. Adını bu iki haberleşme protokolünden alan TCP/IP farklı haberleşme protokollerinden oluşan bir protokol takımıdır. Bir ağ üzerinde yer alan ve farklı haberleşme protokolleri kullanan cihazlar arasındaki haberleşme sorununu gidermek için, 1960’larda ABD Savunma Bakanlığı tarafından ortak bir protokol takımı oluşturulmuştur. Bir ağ birbiri üzerine kurulmuş farklı seviyelerden oluşmaktadır. En alt seviyede, ağ üzerindeki cihazlar birbirine fiziksel olarak bağlıdır. Her bir cihaz ağ üzerinde farklı bir adrese sahiptir ve böylece verilerin doğru yere taşınması sağlanır. En üst seviyede ise kullanıcının gördüğü uygulama seviyesi bulunmaktadır. TCP/IP protokol takımı cihazlardaki bu farklı seviyelerde gerçekleşen işlemleri yönetir ve haberleşmeyi sağlar [32].

3.3.2.3 DMX 512

Özel protokoller kullanan ara yüzlerin en alt seviyedeki ortak haberleşmesi DMX 512 protokolü ile sağlanmaktadır. Özellikle sahne aydınlatmalarında yaygın olarak kullanılan bir protokoldür.

Papatya zinciri adı verilen, çok noktalı ağ topolojisinde yer alan cihazlara bir DMX 512 giriş ve bir adet DMX 512 çıkış klemensi bağlanır. Kontrol cihazı üzerindeki DMX 512 çıkış klemensinden DMX 512 kablosu ile kontrol edilecek cihazın giriş klemensine bağlantı yapılır. İlk cihazdan çıkan kablo bir sonraki cihazın girişine bağlanarak devam eder. Son cihazın çıkışına bir DMX sonlandırıcı konur. Bağlantı klemensleri beş pinlidirler [33].

Merkezi kontrol ünitesi ile yerel kontrol ünitesi arasında güç hattı üzerinden yüksek frekansla veri taşıma yöntemi de kullanılmaktadır. Lonwork, TCP/IP gibi haberleşme protokollerinde veri taşıma için fiber optik kablolar ya da radyo frekansı, GSM (Global System For Mobile Communications-Küresel Mobil Haberleşme Sistemi) gibi kablosuz haberleşme teknolojileri de kullanılmaktadır.

3.4 Kontrol Stratejisinin belirlenmesi

Yol aydınlatması otomasyon sistemlerinde farklı kontrol stratejileri kullanılabilir. Bir yöntem olarak; geçmiş verilere dayanarak o yol üzerinde farklı saatlerdeki yoğunluk seviyeleri belirlenir, daha sonra belli zaman aralıklarında önceden belirlenen yoğunluk seviyesine göre hesaplanan parlıltı düzeyini sağlayacak şekilde lamba ışık akılarının loşlaştırılması gerçekleştirilir. Daha karmaşık olan başka bir yöntemde ise gerçek zamanlı kontrol yapılmaktadır. Mevcut teknolojik gelişmeler çeşitli sensörler ve kameralar ile yoldan geçen araç sayısının ve trafik yoğunluğunun gerçek zamanlı olarak ölçülmesine olanak sağlamaktadır. Bu bilgi kontrol sistemine bir giriş parametresi olarak konulduğunda, yine gerçek zamanlı olarak lamba ışık akılarını o anki yol koşullarına uygun şekilde değiştirmek mümkün olabilmektedir. Ancak saatte geçen araç sayısındaki değişim çok yavaş olmakta bu durumda sistem o anda gerçekten ihtiyaç duyulan aydınlatma seviyelerine adapte olamamaktadır. Gerçek zamanlı kontrol yapılmak isteniyorsa, en fazla 15 dakikada bir ya da daha kısa aralıklarla geçen araç sayısına göre 2 ila 4 farklı seviyede loşlaştırma yapılması uygun olmaktadır. Sürekli loşlaştırma yapıldığında sistem geçen araç sayısına daha duyarlı olmakta ve sürekli loşlaştırma seviyesini değiştirmek istemektedir. Ancak 2 ya da 4 seviyede loşlaştırma yapılacak şekilde ayarlanırsa, lambalar daha uzun bir süre kararlı olarak çalışmakta ve ihtiyaç duyulan parlıltı düzeyini sağlama konusunda yeterli olmaktadır. Sistemin karmaşıklığının getirdiği teknik problemler ve bu yöntem kullanıldığında elde edilecek enerji tasarrufunun zaman ayarlı yöntemle aynı olması nedeniyle yol üzerindeki trafik yoğunluğu değişimi iyi biliniyorsa ya da doğru bir şekilde tahmin yapılabiliyorsa zaman ayarlı yöntemin kullanılması oldukça iyi sonuçlar vermektedir [34].

Gerçek zamanlı kontrol yapılması halinde, meteorolojik değişiklikler de bir kontrol parametresi olabilmektedir. Ancak meteorolojik koşullardaki değişime göre parlıltı düzeyinin nasıl değiştirilmesi gerektiği henüz netlik kazanmamıştır. Sis, aşırı yağış gibi normalin dışındaki koşullara uygun (normal koşullarda gerekli olan yol yüzeyi parlıltısından daha fazla parlıltı düzeyi sağlayacak şekilde) bir aydınlatma tesisatı kurmak için yapılacak yatırım daha fazla olmakta, ancak güvenlik açısından getireceği fayda tam olarak hesaplanamamaktadır.

Bu kontrol yöntemleri dışında, lamba ömrü ile ışık akısı değerinin düşmesine bağlı bir kontrol yaparak da enerji tasarrufu elde edilebilmektedir. Yeni bir aydınlatma tesisatı kurulurken hesaplamalarda 0,8 gibi bir bakım faktörü kullanılmakta, bu da başlangıçta lambaların %20 oranında fazla ışık akısı vermesi anlamına gelmektedir. Lamba ömrü azaldıkça ışık akısı değeri de düşmektedir. Loşlaştırma yapılabilen otomasyonlu yol aydınlatması sistemlerinde başlangıçta lambaların loşlaştırılmış şekilde çalıştırılması, ışık akısı düştükçe lamba gücünü arttırarak zaman içerisinde meydana gelen bu ışık akısı değişimini azaltmak ve bu sayede bir enerji tasarrufu yapmak da olasıdır. Kanada'da gerçekleştirilen bir pilot projede, her bir armatüre ışık akısı sensörleri yerleştirilmiştir. Sensör, ışık akısındaki değişiklikleri algılamakta böylece lambalar yeniyken akıyı azaltıp, lambaların ömrüyle akı değeri düştükçe akıyı arttırmaktadır. Bu şekilde % 8 oranında enerji tasarrufu elde edilmiştir [34]. Ancak nasıl bir kontrol yapılırsa yapılsın, ekonomik ömrü sonunda lambaların değiştirilmesi gerektiği unutulmamalıdır.

Yol aydınlatması otomasyon sistemleri ve özellikle trafik yoğunluğuna göre ışık akısının loşlaştırılması uygulamaları oldukça yeni çalışmalar olduğu için, henüz bu konudaki kontrol stratejilerinin nasıl seçileceği, ya da parametrelerin aydınlatma sınıfını nasıl etkileyeceğine ilişkin kullanılacak hazır bir kılavuz bulunmamaktadır. CEN standartlarında yoldan günlük geçen araç sayısı aydınlatma sınıfının seçiminde bir parametre olarak kullanılmaktadır[35]. Örneğin; Tablo 3-3'e göre, A3 tipi olarak belirlenen bir yoldan günlük geçen ortalama araç sayısına göre aydınlatma sınıfı ya ME2 (CIE115'e göre M2) ve ME5 (CIE 115'e göre M5) arasında ya da ME1 (CIE115'e göre M1) ile ME4a (CIE115'e göre M4) arasında değişmektedir (Tablo 3-4 ve Tablo 3-5).

Başka bir deyişle, aynı yol üzerinde farklı trafik yoğunluklarında 4 farklı aydınlatma sınıfı kabul edilebilmektedir.

Tablo 3-3 CEN/TC 169'a göre aydınlatma yer sınıfının seçimi

Esas kullanıcı hızı (km/saat)	Aynı alandaki kullanıcı tipleri			Aydınlatma yer sınıfı
	Esas kullanıcı	İzin verilen diğer kullanıcı	İzin verilmeyen kullanıcı	
>60	Motorlu taşıtlar		Yavaş araçlar Bisikletler Yayalar	A1
		Yavaş araçlar	Bisikletler Yayalar	A2
		Yavaş araçlar Bisikletler Yayalar		A3
>30 ve ≤60	Motorlu taşıtlar Yavaş araçlar	Bisikletler Yayalar		B1
	Motorlu taşıtlar Yavaş araçlar Bisikletler	Yayalar		B2
	Bisikletler	Yayalar	Motorlu taşıtlar Yavaş araçlar	C1
>5 ve ≤30	Motorlu taşıtlar Yayalar		Yavaş araçlar Bisikletler	D1
		Yavaş araçlar Bisikletler		D2
	Motorlu taşıtlar Bisikletler	Yavaş araçlar Yayalar		D3
	Motorlu taşıtlar Yavaş araçlar Bisikletler Yayalar			D4
Yürüme hızı	Yayalar		Motorlu taşıtlar Yavaş araçlar Bisikletler	E1
		Motorlu taşıtlar Yavaş araçlar Bisikletler		E2

Tablo 3-4 A3 tipi yolda aydınlatma sınıfı için önerilen aralık

Baskın meteorolojik koşul	Refüj	km başına kesişme sayısı	Yoldan geçen araç sayısı											
			< 7000			7000 - 15 000			15 000 - 25 000			> 25 000		
			←	0	→	←	0	→	←	0	→	←	0	→
Kuru	Var	< 3	ME5	ME5	ME4a	ME5	ME5	ME4a	ME5	ME4a	ME3b	ME4a	ME3b	ME3b
		≥ 3	ME5	ME4a	ME3b	ME5	ME4a	ME3b	ME4a	ME3b	ME2	ME3b	ME2	ME2
	Yok	< 3	ME5	ME4a	ME3b	ME5	ME4a	ME3b	ME4a	ME3b	ME2	ME3b	ME2	ME2
		≥ 3	ME4a	ME3b	ME3b	ME4a	ME3b	ME2	ME3b	ME2	ME2	ME3b	ME2	ME1
Islak			Yukarıdaki şekilde, ancak MEW sınıflarından biri seçilir											

Tablo 3-5 Aralıktan uygun sınıfın seçilmesi

Çakışma alanı	Görüş alanının karmaşıklığı	Park etmiş araç	Yön tayininin zorluğu	Çevre aydınlatması		
				düşük	orta	yüksek
Yok	Normal	Yok	Normal	←	←	0
			Normalden yüksek	0	0	→
		Var	Normal	←	0	→
			Normalden yüksek	0	→	→
	Yüksek	Yok	Normal	←	0	0
			Normalden yüksek	0	→	→
		Var	Normal	0	0	→
			Normalden yüksek	→	→	→
Var				→		

Bölüm 2.2.9’da verildiği gibi, CIE 115-2008’e göre de trafik yoğunluğu çok yüksek, yüksek, orta, düşük, çok düşük olmak üzere 5 farklı seviyede değerlendirilmiş, bu seviyelere sırasıyla 1; 0,5; 0; -0,5 ve -1 ağırlık faktörü değerleri verilmiştir. Yoldaki diğer parametreler sabitken yalnızca trafik yoğunluğuna bağlı ağırlık faktörleri değiştirilerek hesap yapıldığında bir yol üzerinde 3 farklı aydınlatma sınıfı kabul edilebilmektedir.

Buna göre ister önceden zaman ayarlı kontrol, ister gerçek zamanlı kontrol yapılsın, trafik yoğunluğundaki değişime bağlı olarak, CIE önerilerine veya CEN standartlarına göre seçilen aydınlatma sınıfları için gerekli kalite kriterlerini sağlayacak şekilde lamba ışık akıları 2 ila 4 farklı düzeyde loşlaştırılabilir.

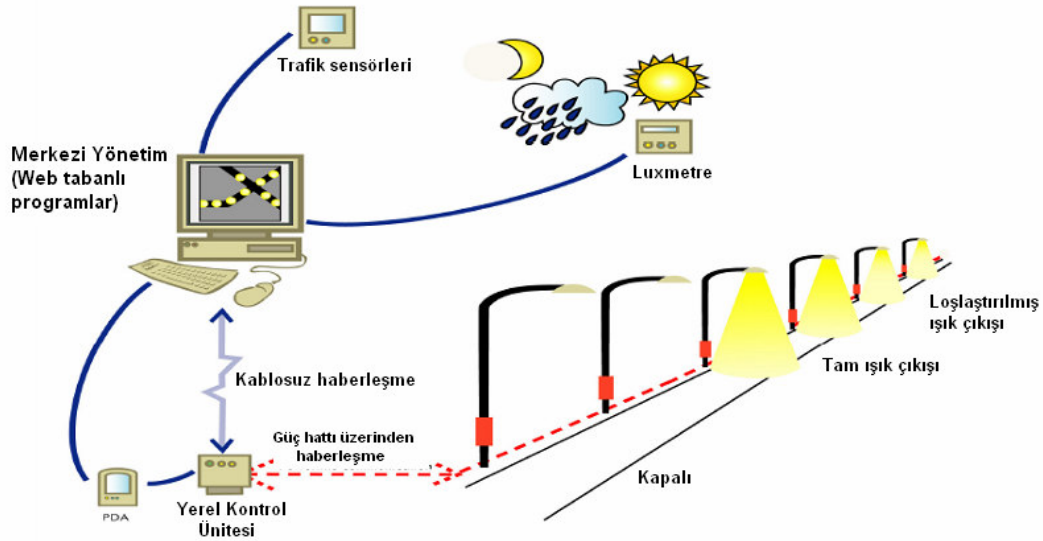
Loşlaştırmada, kademeler arasında geçiş yaparken ışık akısının her kademedede minimum 15 dakika gibi bir süre içerisinde yavaş bir şekilde değiştirilmesine dikkat edilmelidir. Böylece birden artan ya da azalan parıltı düzeyi karşısında sürücülerin rahatsız olması ve dikkatinin dağılması önlenmektedir [34].

4 DÜNYADAKİ UYGULAMALAR

Bu bölümde önce çeşitli ülkelerdeki yol aydınlatması otomasyon sistemlerine ait genel bilgiler daha sonra, Türkiye’deki mevcut durum hakkında bilgi verilecektir.

4.1 Avrupa

Avrupa’da e-street projesi kapsamında “akıllı yol aydınlatması” sistemleri kurulmakta ve yol aydınlatmalarında enerji verimliliği ön plana çıkarılmaktadır. Yol aydınlatma tesisatlarında Telemangement sistemi kullanılarak trafik, hava durumu gibi değişkenlere bağlı olarak lambaların ışık akısı değiştirilmektedir. Şekil 4.1’de Telemangement sistemine ait örnek bir şema gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Telemangement sistemi genel şeması

Bu projeye dahil olan ülkeler; Norveç, İsveç, Finlandiya, Polonya, Çek Cumhuriyeti, Almanya, Hollanda, İrlanda, Slovenya, Bulgaristan, Portekiz’dir. Proje kapsamında Avrupa’da gerçekleştirilmiş olan en önemli çalışmalar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

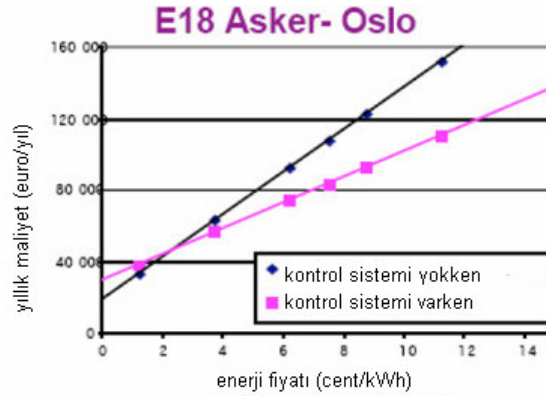
4.1.1 Norveç

Hükümet (ENOVA), Trondheim Üniversitesi (NTNU), Oslo, Asker ve Bærum Belediyeleri ile yakın işbirliği içinde, eski tesislerde iyileştirme çalışmaları yapan

Hafslund firması yüksek basınçlı civa buharlı lambaları, yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar ile değiştirerek %70'lere varan enerji tasarruf potansiyeline ulaşmıştır.

2005-2007 yılları arasında Oslo'da 20 000-30 000 lamba teçhizatı yenilenmiştir. Eski teçhizatlarda kullanılabilecek yeni ateşleme sistemi için ayrılan bütçe 10-13 milyon Euro'nun üzerindedir. Bu yatırım sayesinde yılda 14,5 GWh elektrik enerjisi tasarrufu elde edilecektir. Elektronik loşlaştırma sistemi sayesinde %30'lara varan enerji tasarrufu sağlanabilecektir.

Şekil 4.2'de, Oslo ve Asker arasındaki otoyolda aydınlatma kontrol sistemi kurulduktan sonra farklı enerji fiyatları için elde edilebilecek tasarruf miktarı gösterilmektedir [36].



Şekil 4.2 Oslo Asker arasındaki otoyolda aydınlatma kontrol sistemi kurulduktan sonra farklı enerji fiyatları için elde edilecek tasarruf miktarları

4.1.2 İsveç

Ağustos 2006'da Göthenburg'da akıllı yol aydınlatması projesi başlamıştır. Proje kapsamında bu bölgedeki tüm yol aydınlatma sistemi yeniden yapılandırılacaktır. Bu kapsamda 366 adet eski lamba teçhizatının tümü 283 adet akıllı lamba teçhizatı ile değiştirilmiştir.

Yol üzerinde kaza, kötü hava koşulları gibi durumlar dışındaki normal koşullara uygun bir senaryo için lambaların loşlaştırma seviyeleri aşağıdaki şekilde ayarlanmaktadır:

- Yoğun saatlerde, loşlaştırma seviyesi %70'e çıkarılır.
- Gece saatlerinde loşlaştırma seviyesi %35'e düşürülür.
- Aradaki saatlerde %50 seviyesinde aydınlatma yapılır.

Sistem kurulduktan sonra elde edilen enerji tüketim verileri İsveç'te yılın aydınlık zamanına aittir ve sonbahar-kış döneminde lambaların daha fazla yanık kalacağı beklenmektedir. Ancak, şu ana kadar belirlenen değerlere göre çalışma saati başına ortalama enerji tüketimi tek bir aydınlatma için, otomasyonsuz sisteme göre %37 azalmıştır. Bu değer kış boyunca daha da artacaktır. Kış dönemi için çalışma saati başına enerji tüketiminin %45-50 oranında azalacağı tahmin edilmektedir. Bu prototip bir çalışma olduğu için tesis edilen her bir lamba teçhizatının yapım ve yatırım maliyeti oldukça yüksektir. Her bir lamba teçhizatı için maliyet geleneksel bir yol aydınlatma teçhizatının yaklaşık iki katıdır.

Bugünkü elektrik enerjisi fiyatları üzerinden erken bir tahmin yapıldığında, yatırımın geri ödeme süresi 8-12 yıl olarak düşünülmektedir. Ancak, bu tahmin küçük ölçekli projeler ve yüksek geliştirme maliyetleri için yapılmıştır. Daha yüksek miktarlarda endüstriyel üretim yapıldığında daha iyi sonuçlar elde edilmesi beklenmektedir [36].

4.1.3 Finlandiya

2005 sonbaharında Helsinki Ring III Yolu üzerinde akıllı yol aydınlatması sistemi kurulmuştur. 6 şeritli 4 km yol ve 4 kavşak alanında toplam 492 adet 600W yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba kontrol edilmektedir. Yolun aydınlatma sınıfı M2 (1.5 cd/m²) olarak belirlenmiştir. Sistemde her adımda %5 oranında loşlaştırma yapılan sürekli loşlaştırma uygulanmaktadır [34, 36].

2006 yılı sonunda Helsinki Porvoo'da VT7 otoyolunda bir akıllı yol aydınlatma sistemi daha kurulmuştur ve sistem 2007 Ocak ayından beri çalışmaktadır. 31 km uzunluğundaki 4 şeritli yol boyunca 250 W yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalı armatürler kullanılmıştır. Yolun aydınlatma sınıfı M3 (1 cd/m²) olarak belirlenmiştir. Dört kademedeki loşlaştırma yapılan sistemde, her bir kademedeki loşlaştırma oranı %20'dir.

Her iki yolda da merkezi sistemde yoldan geçen araç sayısı ve yol üzerindeki parlaklık düzeyi bilgileri toplanarak uygun loşlaştırma seviyesine ayar yapılmaktadır. VT7 yolunda yapılan hesaplar ortalama %45 oranında yıllık enerji tasarrufu elde edilebileceğini göstermektedir [36].

4.1.4 Hollanda

Hollanda'da dinamik yol aydınlatma sistemlerinin temeli 1970 yılındaki enerji krizine dayanmaktadır. Bu dönemde enerji tasarrufu yapmak için aydınlatılan yol boyunca bazı lambaların kapatılması ile enerji tasarrufu elde edilmeye çalışılmıştır. Ancak bu uygulama sonucunda kaza oranında çok büyük olmasa da bir artış olmuştur. 1995 yılından bu yana, Hollanda'da trafik, hava durumu ve günün zamanına bağlı olarak üç farklı parıltı düzeyinden birine ayarlanabilen dinamik yol aydınlatma sistemleri kurulmuş ve işletilmektedir. Sistemin yol üzerinde sağladığı parıltı düzeyleri trafik yoğunluğu az olan gece saatlerinde $0,2 \text{ cd/m}^2$ (%20); trafiğin yoğun olduğu saatlerde 1 cd/m^2 (%100); sis, aşırı yağış ve yoğun trafiğin bir arada olduğu durumlarda $2,0 \text{ cd/m}^2$ (%200) olarak ayarlanmaktadır. Tesisatta loşlaştırılabilir elektronik HPS balastlar kullanılmaktadır. Hollanda'lı uzmanlar kaza bilgilerini toplayıp analiz etmişlerdir. Ancak yol çok kısa ve istatistiksel bilgiler de çok az olduğu için parıltı düzeyinin 2 cd/m^2 'ye çıkarılması ile gerçekten fayda elde edilip edilmeyeceği konusunda kesin bir sonuca varılamamıştır. Sonuçlardan, trafik yoğunluğunun az olduğu (saatte 800 araçtan daha az) saatlerde $0,2 \text{ cd/m}^2$ olan düşük seviyenin kullanılmasının uygun olacağı anlaşılmaktadır [36].

4.1.5 İngiltere

İngiltere'deki otoyollarda ilk loşlaştırılabilen aydınlatma uygulaması M65 projesidir. Bu projenin gelecek uygulamalara bir yol gösterici olması planlanmıştır. Enerji tasarrufu ve çevresel faktörler ile ilgili oluşan baskılar ileride pek çok otoyolda loşlaştırma uygulamalarının yapılmasını gündeme getirmektedir.

Lanchasire M65 otoyolu az bilinen bir otoyol olup, çok daha kalabalık olan Preston yakınlarındaki M6 otoyolundaki trafiğin sadece bir kısmını taşımaktadır. Yorkshire üzerinden doğuya giden M65 Blackburn ve Burnley kasabalarına çıkış sağlamak ve Nelson'un az ilerisinde Colne'de sona ermektedir. Doğu ucunda 7 mil boyunca 10. ve 14. kavşaklar arasındaki iki şeritli kısmın tesisi ve işletmesi Lanchasire Bölge Konseyi (LCC- Lanchasire County Council) nin sorumluluğundadır.

Bu kısa otoyol parçası gelecek uygulamalara ışık tutacak şekilde bir pilot projenin temelini oluşturmaktadır. WRT L dış aydınlatma, Royce Thompson ve Pik Trafik Yönetim sistemleri ile işbirliği içinde LCC'nin Yol Aydınlatma Grubu yol boyunca aydınlatma cihazlarını yenileyerek Tablo 4-1'de verilen şekilde, yoldan geçen araç

sayısına göre kontrol edilen loşlaştırılabilir aydınlatma sistemini tesis etmişlerdir. Bu proje için seçilen sistem Royce Thompson Elgadi elektronik kontrol sistemidir. Güç hattı modemi ve Horus yol aydınlatma kontrol sistemi de buna dahildir. Bu proje ile yılda %24 oranında enerji tasarrufu elde edildiği açıklanmaktadır.

Tablo 4-1 M65 otoyolu üzerindeki kontrol parametreleri

Saatte geçen araç sayısı	Loşlaştırma seviyesi
>3000	%100
3000-1500	%70
<1500	%50

Aynı yol üzerinde Manchester Bilim ve Teknoloji Enstitüsü (UMIST) Optometri ve Nörobilim Bölümü tarafından gece sürüşü sırasındaki oküler stres üzerine bir araştırma da yürütülmektedir. Farklı aydınlatma seviyelerinde yapılan ölçümler, oküler stres ve yol aydınlatmasının birbiriyle olan ilişkisine dair oldukça önemli sonuçlar vermiştir. Yapılan araştırmada loşlaştırılabilen aydınlatma sistemi kurulduğunda, sürüş konforunun arttığına dikkat çekilmektedir. Özel olarak ölçülemez de oküler stresin azaltılması ile sürücülerin dikkati artırılarak kaza oranının düşürülebileceği belirtilmektedir.

LCC, aydınlatma konusunda getirdiği yenilikler ve enerji yönetimi nedeniyle Kasım 1999'da Enerji Verimliliği Akreditasyon Satüsü'ne erişen ilk otoyol otoritesi olmuştur. Bu ödül Ulusal Enerji Enstitüsü tarafından verilmiş ve daha sonra enerji yönetiminde ulusal bir standart olarak kabul edilmiştir. Yol aydınlatma grubu da Eylül 2000'de Büyük Ölçekli Enerji Tüketicileri Konseyi'nin "en iyi enerji stratejisi" ödülünü almıştır [36].

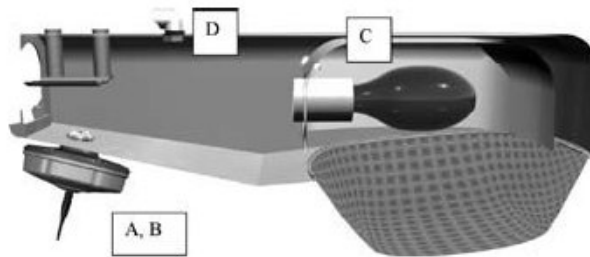
4.2 Çin

Hong Kong Şehir Üniversitesi desteği ile Enerji Teknoloji Şirketi, yol aydınlatma tesisatlarında merkezi loşlaştırma teknolojisini uygulamaya başlamıştır. Söz konusu teknoloji, hem iç aydınlatma hem de yollar, otoyollar, park ve bahçeler, araç otoparkları, yerleşim yerleri, endüstriyel ve ticari binalar, havaalanları, oteller, üniversiteler ve stadyumlar gibi geniş bir alanda kullanılabilir. Çin'de merkezi loşlaştırma sistemleri Eylül 2004 yılından itibaren denenmekte olup, ortalama %30 değerinde bir enerji tasarrufu elde edildiği açıklanmaktadır. Kullanılan

teknolojinin ülkede enerji tasarrufu sağlaması ve hava kirliliğini azaltmasının yanı sıra, dış ülkelere ithal edilebilecek bir teknoloji olması üzerinde de durulmaktadır. Heshan şehrinde 7000 sokak lambasını kontrol edecek bir sistem halen kurulma aşamasındadır [36].

4.3 Amerika Birleşik Devletleri

Streetlight Intelligence (STI) Lumen IQ cihazı British Columbia, City of Prince George'da bir ana yol üzerinde ayarlanabilir yol aydınlatma cihazı olarak kullanılmıştır. Proje aydınlatma ve ulaşım ile ilgili mühendislik konularında hizmet veren DMD & Associates firması ile yerel elektrik şebekesi olan BC Hydro ortaklığında yürütülmüştür. STI Lumen IQ, Şekil 4.3'de gösterilen tesisatlarda mevcut kobra başlı yol aydınlatma armatürlerine uyarlanmıştır. Lumen IQ sistemi ışık akısını değiştirmek, lamba ömrünü görüntülemek, kesintileri tespit edip raporlamak ve enerji tüketimini ölçmek üzere tasarlanmıştır. Lumen IQ yol aydınlatmalarının ışık akısını birbirinden bağımsız olarak gece belirlenen saatlerde değiştirerek bir enerji tasarrufu sağlamıştır. Yol aydınlatmalarının kontrolü internet üzerinden merkezi bir ünitelerden yapılmıştır. Her bir armatüre internet üzerinden kablosuz olarak sinyal gönderilmesi sağlanmıştır. Ayrıca, aydınlatma armatürlerinin performansının izlenmesine, enerji tüketiminin ve loşlaştırma ile elde edilen tasarrufun değerlendirilmesine, verilerin toplanması ve analizini gerçekleştiren bir program sayesinde bakım çalışmalarının iyileştirilmesine olanak sağlanmıştır.

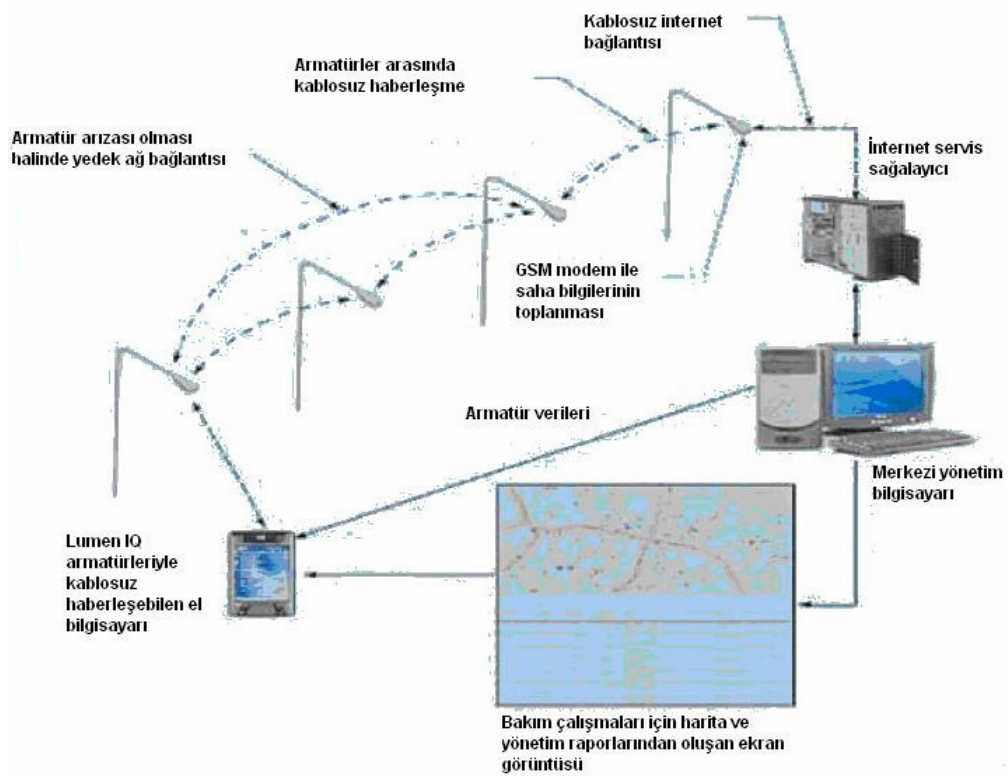


Şekil 4.3 Kobra başlı aydınlatma armatürü (A)Mikroişlemci, B)WIFI arayüzü, C)Lamba ışık akısı sensörü, D)Gece/gündüz sensörü)

Lumen IQ cihazı ile ışık akısı %100-%31 arasında ayarlanabilmektedir. Bu sayede %40' a varan enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Bu değer hem laboratuvar ortamında hem de sahada yapılan testler ile doğrulanmıştır

Kuzey Amerika'daki çoğu yol aydınlatmasının enerji tüketimi ölçülmemekte, kullanılan cihazların saatte tükettikleri enerji miktarı (yaklaşık yılda 4100 saat) temel alınarak bir hesap yapılmaktadır. Lumen IQ sistemi kullanıldığında gerçek tüketilen enerji miktarı tam olarak ölçüleceği için, işletmeciler yapacakları enerji tasarrufunun karşılığını da daha doğru olarak hesaplayabileceklerdir.

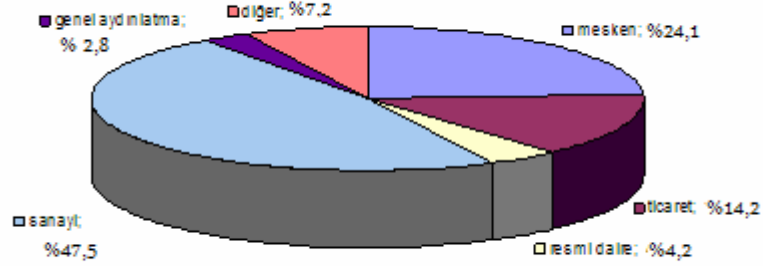
Yol aydınlatma cihazları teker teker uygun bir fotosensör ile ölçülerek ışık akısı, zamana bağlı olarak tutulan kayıtlar, enerji tüketimi gibi veriler sayesinde; armatürler, lambalar ve sahadaki diğer ekipmanlar ile ilgili performans verileri elde edilmektedir. Böylelikle tasarım, işletme ve bakım sırasında yapılacak analizler için bir veri tabanı oluşturulacaktır [36]. Şekil 4.4'de Lumen IQ sistemi şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.4 Lumen IQ Sistemi

4.4 Türkiye

TEDAŞ'ın 2006 yılı verilerine göre, toplam elektrik tüketiminin %3'ünü genel aydınlatma olarak tanımlanan dış aydınlatma uygulamaları oluşturmaktadır. Şekil 4.5'de Türkiye elektrik enerjisi tüketiminin sektörlere göre dağılımı grafik olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.5 2006 yılı Türkiye elektrik enerjisi tüketiminin sektörlere göre dağılımı

Türkiye’de yıllık toplam elektrik enerjisi tüketimi 2006 yılı için 143 070,5 GWh olarak verilmektedir. Genel aydınlatma ve ibadethaneleri kapsayan aydınlatma tüketimi toplamı 3 950,372 GWh’tir. Bunun 3 369,195 GWh’i TEDAŞ tarafından, 58,942 GWh’i ise özel şirketlerden temin edilmiştir. Bedeli ödenmeyen miktar 522,235 GWh’tir. TEDAŞ 2008 yılı tarifesine göre genel aydınlatmalar için tek zamanlı tarife uygulanmakta elektriğin birim fiyatı 13,773 Ykr/kWh olarak açıklanmaktadır [37].

Özelleştirme idaresi tarafından hazırlanan bir yasa tasarısı ile belediyelerin ödemekle yükümlü olduğu sokak aydınlatmalarının bedelinin mesken ve sanayi abonelerinin faturalarına yansıtılması da gündemdedir.

Yol aydınlatma otomasyon sistemleri kurulduğunda elde edilecek enerji tasarrufu ile sistemin kendini geri ödemesi beklenmektedir. Ancak bunun için öncelikle aydınlatma bedellerinin ödeniyor olması gerekmektedir. Bu nedenle belediyelerin aydınlatma bedelini ödemesi ile ilgili mevcut sorunlar bu sistemlerin kurulmasının önünde bir engel oluşturmaktadır.

İstanbul’da, Büyükşehir Belediyesi’ne bağlı Şehir Aydınlatma ve Enerji Müdürlüğü kentsel aydınlatma konusunda faaliyet göstermektedir.

Bu kurum enerji verimliliğine yönelik çeşitli çalışmalar uygulamakta ve planlamaktadır.

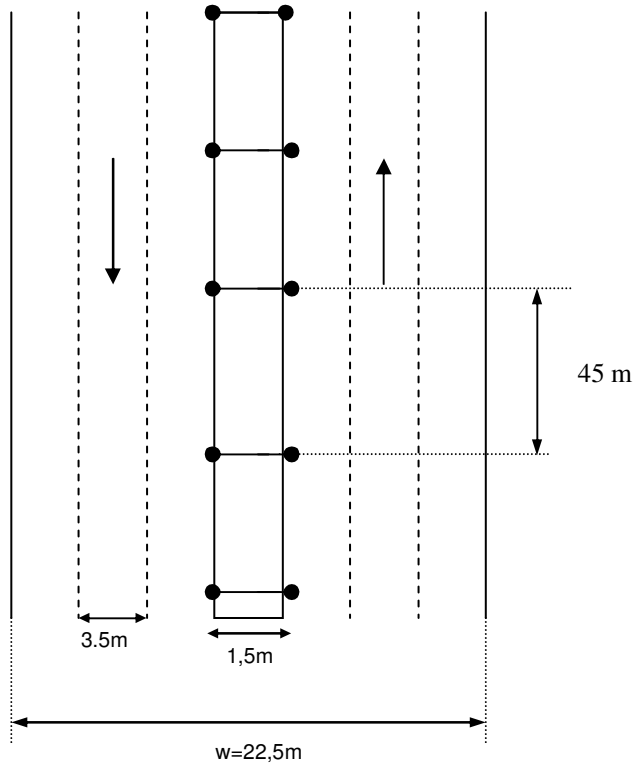
Mevcut uygulamalarda dekoratif dış aydınlatma sistemleri gece belli bir saatte kapatılarak enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Bu stratejinin ilk örneği Bozdoğan Kemerli Aydınlatmasında gerçekleştirilmiştir. Gece saat 01:30'da tüm aydınlatma sistemi kapatılmaktadır.

Çalışması devam eden otomasyon sisteminde aydınlatma tesisatında akıllı panolar kullanılarak lambaların aynı anda merkezden açılıp kapanması, arıza bilgilerinin uzaktan takip edilmesi, gerilim, güç, sıcaklık gibi bilgilere bağlı olarak enerji kalitesinin izlenmesi gerçekleştirilecektir. Loşlaştırma ile ilgili uygulamaların da yakın gelecekte gerçekleştirilmesinin planlandığı belirtilmektedir [38, 39].

5 KARŞILAŞTIRMA VE MALİYET HESAPLARI

Bu bölümde, İstanbul şehir içinde önemli arterlerden biri olan Beşiktaş'taki Barbaros bulvarı örnek alınarak, böyle bir ana arter aydınlatması otomasyon sistemi ile kontrol edildiğinde yapılacak yatırımın maliyeti ve elde edilecek enerji tasarruf oranları belirlenmiştir.

Bu yol, her biri 3,5 metre genişliğinde üç gidiş, üç geliş olmak üzere altı şerit ve ortada 1,5 metre genişliğindeki bir refüjden ibaret olan, toplam 22,5 metre genişliğindeki bir yoldur. Üç metreden kısa aralıklarla kavşak veya yonca ayrımlarının olmadığı bu yolda hız limiti 50 km/saat ila 90 km/saat arasındadır. Türkiye için geçerli yol aydınlatma sınıflarının verildiği Tablo 2-3'deki tanımlara göre bu yol M2 sınıfı olarak kabul edilebilmektedir. Şekil 5.1'de örnek alınan yola ait şema gösterilmektedir.

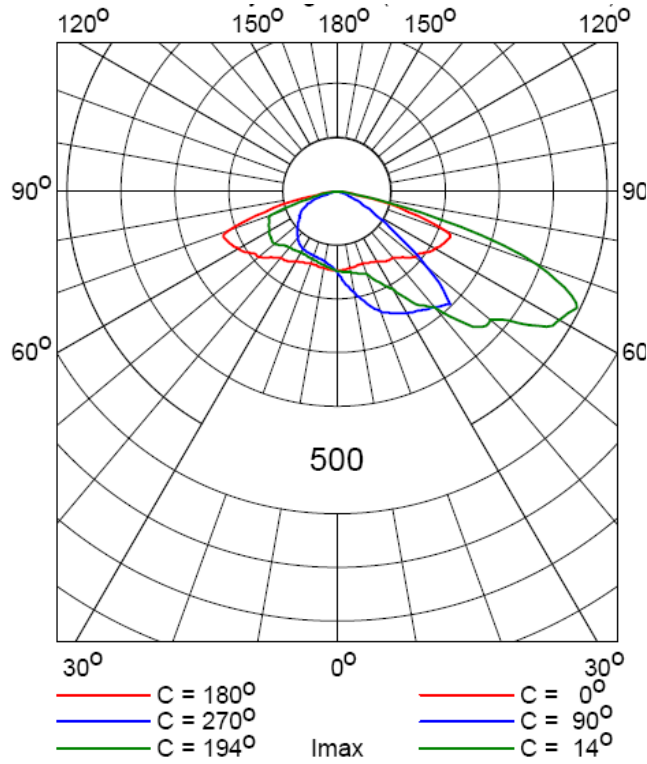


Şekil 5.1 İstanbul şehir içinde bir örnek yola ait şema

Yol üzerinde, otomasyon sistemi yokken, ve otomasyon sistemi kurulması halinde hesaplamalar ayrı ayrı yapılmıştır. Aşağıda yapılan bu hesaplamalar detayları ile verilmektedir.

5.1 Otomasyon Sistemi Kurulmadığı Durum

Sözkonusu yolda CIE 115 nolu yayına göre M2 sınıfı yol için sağlanması gereken kriterleri elde etmek için çok sayıda tasarım hesabı yapılmıştır. Hesap sonuçlarına göre, yolun refüjden çift konsollu aydınlatma düzeneği ile içlerinde 250 W şeffaf tüp yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar bulunan IP 65 sınıfı yarı ekranlı armatürler ile aydınlatılmasına karar verilmiştir. Kullanılan armatüre ait ışık dağılım eğrisi Şekil 5.2’de verilmektedir.



Şekil 5.2 Philips SGS254 FG CP P3X 1xSON-TPP250W kodlu armatüre ait ışık dağılım eğrisi

Direk yüksekliği 15 metre, direkler arası mesafe 52 metre olarak alınmıştır. Hesap parametreleri ve CIE önerilerine uygun olarak elde edilen kalite büyüklükleri Tablo 5-1 ve Tablo 5-2’de verilmiştir.

Tablo 5-1 Örnek yol için tesisat bilgileri

Aydınlatma sınıfı	M2
Yol yansıtma sınıfı	R3
Armatür ve lamba	SGS254 FG CP P3X 1xSON-TPP250W
Direkler arası mesafe (m)	52
Direk yüksekliği (m)	15
Konsol boyu (m)	1,0
θ_k konsol açısı($^\circ$)	0
θ_a armatür açısı($^\circ$)	0

Tablo 5-2 Örnek yolda önerilen ve elde edilen hesap sonuçları

	CIE önerilerine göre M2 sınıfı yolda sağlanması gereken değerler	Hesaplar sonucunda elde edilen değerler
L_{ort} (cd/m ²)	$\geq 1,5$	1,52
U_o	$\geq 0,40$	0,57
U_1	$\geq 0,70$	0,77
TI (%)	< 10	8,4
$E_{y_{ort}}$ (lux)	-	23,5
SR	$> 0,5$	0,65

Örnek yolun 1000 m'lik kısmı için aşağıdaki formüle göre hesaplanan tesis maliyeti (İTM) Tablo 5-3'de verilmektedir.

$$\text{İTM} = d_s \cdot (d_{mal} + d_{mon}) + n \cdot (a_{mal} + a_{mon}) + kb_u (kb_{mal} + kb_{mon}) \quad (5-1)$$

Burada;

d_s : direk sayısı

d_{mal} : direk fiyatı

d_{mon} : direk montaj fiyatı

n : armatür sayısı

a_{mal} : armatür fiyatı

a_{mon} : armatür montaj fiyatı

kb_u : kablo uzunluğu

kb_{mal} : kablo fiyatı

kb_{mon} : kablo montaj fiyatıdır.

Tablo 5-3 Otomasyonsuz sistem tesis maliyeti

Maliyete etki eden parametreler	miktar	birim
Direk sayısı	20	adet
Direk malzeme maliyeti	514,11	YTL
Direk montaj maliyeti	165,555	YTL
Armatür sayısı	40	adet
Armatür malzeme maliyeti (lamba ve balast dahil)	633,34	YTL
Armatür montaj maliyeti	42,13	YTL
Kablo uzunluğu	1600	metre
Kablo malzeme fiyatı	7,85	YTL
Kablo montaj fiyatı	15,23	YTL
Toplam	77 758	YTL

Yıllık enerji tüketim maliyetini hesaplamak için lambaların çalışma saatleri bilinmelidir. Otomasyon sistemi kurulmadığında lambalar gün batımından gün doğumuna kadar aynı güçte çalışmaktadır.

Tablo 5-4'de İstanbul için güneş doğuş ve batış saatleri aylık ortalama olarak verilmiştir [40]. Bu tabloya göre hesaplanan yıllık çalışma saati toplamı 4 251,62 saat olmaktadır.

Tablo 5-4 İstanbul ili için güneş doğuş ve batış saatleri

Aylar	Gün doğumu	Gün batımı	Karanlık saat
Ocak	07:21	17:05	14sa 15dk
Şubat	06:54	17:41	13sa 13dk
Mart	06:09	18:15	11sa 53dk
Nisan	06:20	19:48	10sa 31dk
Mayıs	05:41	20:19	09sa 22dk
Haziran	05:28	20:40	08sa 47dk
Temmuz	05:42	20:36	09sa 05dk
Ağustos	06:11	20:03	10sa 07dk
Eylül	06:40	19:15	11sa 25dk
Ekim	07:12	18:25	12sa 46dk
Kasım	06:47	16:49	13sa 58dk
Aralık	07:17	16:42	14sa 35dk
NOT: 25 Mart 2007-28 Ekim 2007 tarihleri arasında yaz saati uygulaması nedeniyle saatler 1 saat ileri alınmıştır.			

Enerji maliyeti çalışma saati boyunca armatürlerde tüketilen enerji ile enerji birim fiyatının çarpımıdır. Aşağıdaki formüle göre hesaplanır.

$$EN = n \cdot P_i \cdot (H_e) \cdot 10^{-3} \cdot k_{sür} \quad (5-2)$$

n: armatür sayısı

P_i : armatür gücü (lamba gücü + balast gücü) (W)

H_e : 1 kWh elektriğin fiyatı

$k_{sür}$: yıllık kullanma süresi

Yılda 4 251,62 saat çalışan sistem için hesaplanan yıllık enerji maliyeti Tablo 5-5’de verilmiştir.

Tablo 5-5 Otomasyonsuz sistem enerji maliyeti

Maliyete etki eden parametre	miktar	birim
Lamba gücü	250	W
Balast gücü	26	W
kWh fiyatı	0,13773	YTL
Yıllık kullanma süresi	4 251,62	saat
Toplam	6 465	YTL

Yol aydınlatma sistemlerinin maliyetlerine etki eden bir diğer unsur da armatürlerin temizliği, direklerin onarımı, lambaların değiştirilmesi gibi bakım hizmetleri ve bunlar için çalışan işçilerin maliyetlerinden oluşan bakım maliyetleridir. Otomasyon sistemi aynı armatür, lamba ve direkler kullanılarak, aynı boyuttaki tesisat için düşünüleceğinden bakım maliyetleri her iki durumda da aynı kalacaktır. Bu çalışma kapsamındaki maliyet hesapları otomasyonlu ve otomasyonsuz sistemlerin karşılaştırılması için yapıldığından, etkisiz durumdaki bakım maliyetleri hesaplanmamıştır.

5.2 Otomasyon Sistemi Kurulduktan Sonraki Durum

Önceki bölümde tanımlanan aynı örnek yol üzerinde bu kez otomasyon sistemi kurulması halinde hesaplar yeniden tekrarlanmıştır.

Otomasyon sistemleri için kontrol stratejileri Bölüm 3.4’de anlatıldığı gibi yol üzerindeki trafik yoğunluğundaki azalmaya bağlı olarak ışık akısının loşlaştırılması prensibiyle oluşturulmaktadır. Ancak loşlaştırma yapılırken, trafik yoğunluğuna bağlı olarak yeni yol sınıfı belirlenmeli, loşlaştırma seviyesi bu yol sınıfı için gerekli yol parıltı kriterlerini sağlayacak şekilde ayarlanmalıdır. Bu amaçla yeniden düzenlenen ve önümüzdeki aylar içinde yayınlanacak olan CIE 115-2008’de ve CEN/TC 169 no’lu standartta farklı trafik yoğunlukları için kullanılacak yol sınıflarına ait tablolar verilmektedir [34, 41].

CIE 115-2008’e göre önceki bölümde M2 sınıfı olarak belirlenmiş olan örnek yolda trafik yoğunluğu normalde çok yüksek olduğu kabul edilmiştir. Trafik yoğunluğu yüksek, orta, düşük ya da çok düşük olduğunda aydınlatma sınıfı da düşürülebilmektedir. Tablo 5-6’da M2 sınıfı olan bir yolda trafik yoğunluğundaki azalmaya bağlı olarak değişen aydınlatma sınıfları gösterilmiştir. Trafik

yoğunluğunun en az olduğu gece saatlerinde çevre aydınlatma oranının da düşük olduğu kabul edilmiştir.

Tablo 5-6 CIE 115-2008'e göre farklı trafik yoğunluklarındaki aydınlatma sınıfları

Parametre	Seçenekler	Ağırlık Faktörü (AF)	Seçilen AF	Seçilen AF	Seçilen AF	Seçilen AF
Hız	Yüksek	1	1	1	1	1
	Orta	0				
Trafik yoğunluğu	Çok yüksek	1	1	0,5	-0,5	-1
	Yüksek	0.5				
	Orta	0				
	Düşük	-0.5				
	Çok düşük	-1				
Trafik düzeni	Yüksek oranda motorlu olmayan trafik ile karışık	1	1	1	1	1
	Karışık	0.5				
	Yalnızca motorlu araç	0				
Yol refüj ile ayrılmış mı	Hayır	1	0	0	0	0
	Evet	0				
Kesişme yoğunluğu	Yüksek	1	0	0	0	0
	Orta	0				
Park etmiş araç	Var	1	0	0	0	0
	Yok	0				
Çevre aydınlatması	Çok yüksek	1	0,5	0,5	0,5	-0,5
	yüksek	0.5				
	Orta	0				
	Düşük	-0.5				
	Çok düşük	-1				
Görsel Klavuzlama / trafik kontrolü	Zayıf	0.5	0	0	0	0
	İyi	0				
	Çok iyi	-0.5				
Ağırlık Faktörlerinin Toplamı (AFT)			4	3	2	1
Aydınlatma sınıfı (6-AFT)			M2	M3	M4	M5

CEN standardında ise trafik yoğunluğu yoldan geçen araç sayısına bağlı olarak değerlendirilmiş ve yol sınıfları buna göre verilmiştir. Bu yaklaşım daha kesin veriler ile çalışmaya olanak sağladığı için, Barbaros Bulvarı üzerinde yol aydınlatma otomasyon sistemi kontrol stratejisi oluşturulurken araç sayısına bağlı olarak yol sınıfları belirlenmiştir. Esas kullanıcısı motorlu taşıtlar olan, ikinci kullanıcı olarak yavaş araçlar ile yayaların kullanmasına izin verilen, 3 km'den kısa aralıklarla

kavşak noktaları bulunmayan, görüş alanının karmaşıklığı normal olan, park etmiş araç bulunmayan, görsel kılavuzlaması normal, çevre aydınlatması gecenin çoğunluğunda yüksek, gece yarısından sonra düşük olan bu örnek yol için Tablo 3-3, Tablo 3-4 ve Tablo 3-5'e göre, aydınlatma sınıfı trafik yoğunluğuna bağlı olarak ME2 ile ME5 arasında değişmektedir. Bu sonuç CIE 115-2008 önerileriyle de uyumludur.

Tablo 3-4'de yoldan gün boyunca geçen ortalama araç sayısı 7000'den az, 7000 ile 15000 arasında, 15000 ile 25000 arasında ve 25000'den fazla olarak sınıflandırılmaktadır. CEN standardında, yoldan geçen araç sayısı; gün boyunca, belli bir noktadan her iki yönde geçen toplam araç sayısı olarak tanımlanmıştır. Otomasyon sistemi kurulması düşünülen örnek yol daha önce belirtildiği gibi 3 şerit gidiş ve 3 şerit geliş olmak üzere toplam 6 şeritten oluşmaktadır. CEN standardında tek şerit gidiş ve tek şerit geliş için verilen araç sayısı değerleri 3 ile çarpılarak örnek yol için kullanılacak günlük geçen ortalama araç sayısı değerleri elde edilmiştir. Günlük ortalama araç sayıları 24'e bölünerek saatte geçen ortalama araç sayıları bulunmuştur.

Buna göre, örnek yolda trafik yoğunluğuna bağlı olarak aydınlatma sınıfının Tablo 5-7'de gösterilen şekilde değişeceği sonucu çıkarılabilir.

Tablo 5-7 Ortalama geçen araç sayısına göre aydınlatma sınıfının belirlenmesi

Günlük ortalama araç sayısı	< 21 000	21 000 – 45 000	45 000 – 75 000	> 75 000
Saatte geçen ortalama araç sayısı	< 875	875 – 1 875	1 875 – 3 125	> 3 125
Aydınlatma sınıfı	ME5*	ME4a	ME3b	ME2
* Saatte 875'ten daha az sayıda araç geçen geç saatlerde çevre aydınlatma oranının da düşük olduğu kabul edilmiştir.				

M2 sınıfı yolda, önceki bölümde otomasyonsuz yol için yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen tesisat parametreleri geçerlidir. Buna göre IP 65 sınıfı yarı ekranlı armatürler içinde 250 W şeffaf tüp yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar 15 metre yükseklikte direkler üzerinde ve direk açıklığı 52 metre olacak şekilde yerleştirilmiştir. Bu tesis parametreleri aynı kalacak şekilde yalnızca kullanılan

lambanın ışık akısı ayarlanarak istenilen aydınlatma sınıfının parlı kriterleri sağlanacaktır.

Tesisatta kullanılan şeffaf tüp şeklindeki Philips marka 250 W yüksek basınçlı sodyum buharlı lambanın ışık akısı tam güçte çalışması halinde 33200 lm'dir. 33200 lm ışık akısı ile M2 sınıfı yol için gerekli olan 1,5 cd/m² parlı düzeyi sağlanmaktadır, bu durumda lamba %100 ışık akısı verecek şekilde çalışıyor olmalıdır. Yol M3 sınıfı kabul edildiğinde gerekli olan 1,0 cd/m² parlı düzeyini sağlamak için ışık akısı en az 23240 lm olmalıdır, bu da 250 W lambanın maksimum ışık akısının %70'ine karşılık gelir. Yol M4 sınıfı olduğunda, 0,75 cd/m² parlı düzeyini sağlamak için lamba, en az maksimum ışık akısının % 50'sine karşılık gelen 16600 lm akı değerini sağlamalıdır. Yol M5 sınıfı olduğunda, 0,50 cd/m² parlı düzeyini sağlayacak şekilde lamba, en az maksimum ışık akısının %35'i oranında yani 11620 lm ışık akısı vermelidir. Bu ışık akısı değerleri kullanılarak gerçekleştirilen tasarım hesapları sonucunda CIE önerilerine uygun olarak elde edilen parlı kriterleri Tablo 5-8'de verilmiştir.

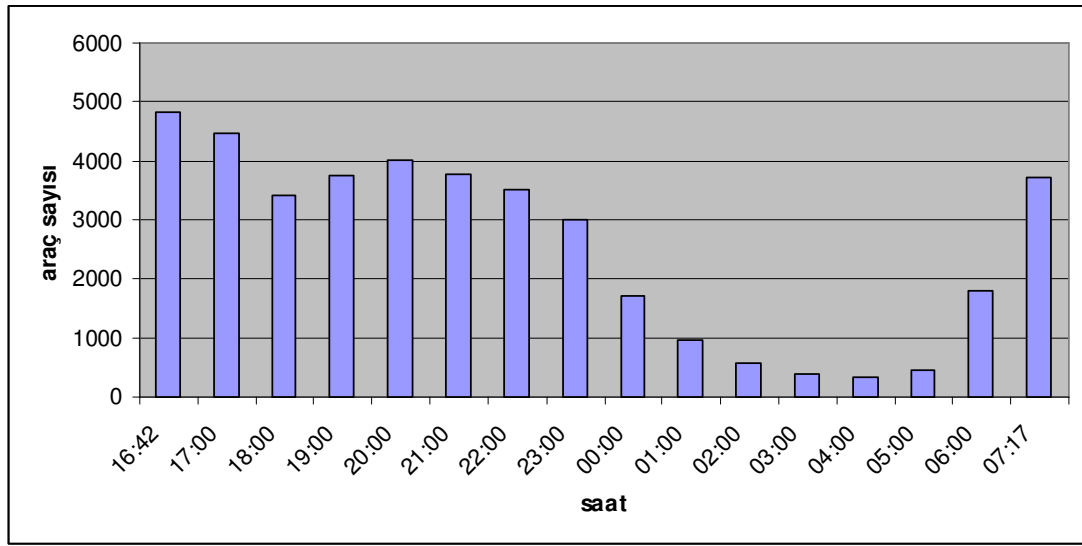
Tablo 5-8 Farklı aydınlatma sınıfları için hesaplanan yol parlı kriterleri

	M2 sınıfı		M3 sınıfı	
	Önerilen	Hesaplanan	Önerilen	Hesaplanan
L _{ort} (cd/m ²)	≥ 1,5	1,52	≥ 1	1,07
U _o	≥ 0,40	0,57	≥ 0,40	0,57
U ₁	≥ 0,70	0,77	≥ 0,70	0,77
TI (%)	< 10	8,4	< 10	7,8
Eh ave (lux)	-	23,5	-	16,4
SR	> 0,5	0,65	> 0,5	0,65
	M4 sınıfı		M5 sınıfı	
	Önerilen	Hesaplanan	Önerilen	Hesaplanan
L _{ort} (cd/m ²)	≥ 0,75	0,76	≥ 0,5	0,53
U _o	≥ 0,40	0,57	≥ 0,35	0,57
U ₁	≥ 0,60	0,77	≥ 0,40	0,77
TI (%)	< 15	7,3	< 15	6,8
Eh ave (lux)	-	11,7	-	8,2
SR	> 0,5	0,65	> 0,5	0,65

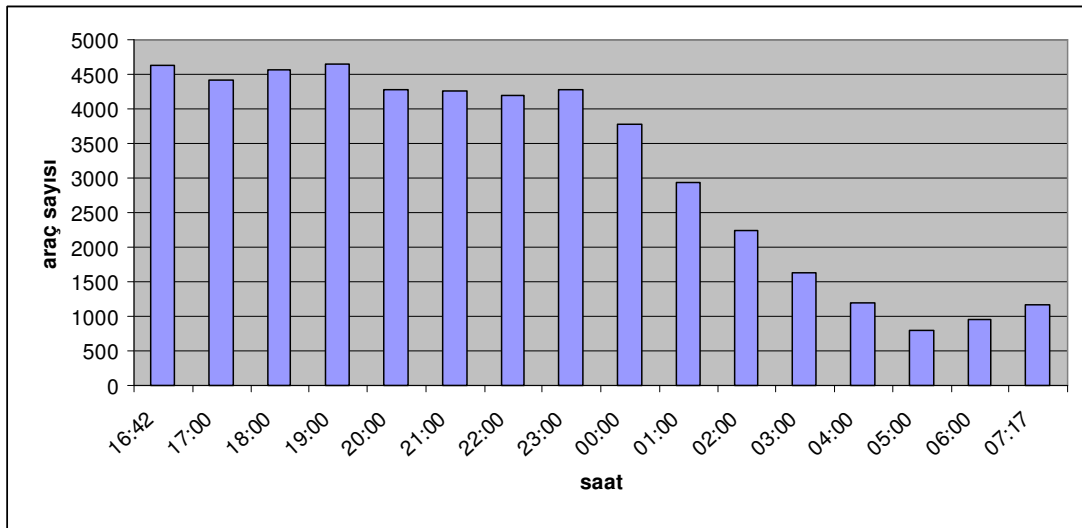
Hesaplamaların yapılacağı yola örnek olarak seçilen Barbaros Bulvarı'nda hangi saatlerde hangi aydınlatma sınıfının kullanılacağını belirlemek için öncelikle bu yol üzerinde saatlere göre trafik yoğunluğu değişimi bilinmelidir.

Barbaros Bulvarı için saatte geçen araç sayısı değerleri İstanbul Büyükşehir Belediyesi Trafik Kontrol Merkezi'nden alınmıştır.

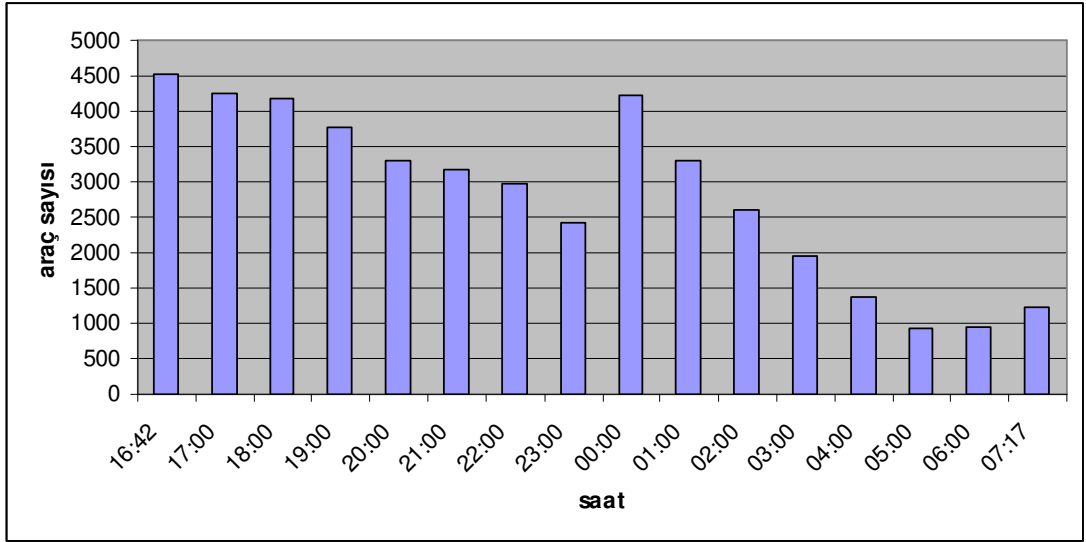
Buna göre kış aylarına örnek olarak Aralık ayında Pazartesi, Cumartesi ve Pazar günlerine ait trafik yoğunluğundaki değişim Şekil 5-3, Şekil 5-4 ve Şekil 5-5'de verilmiştir.



Şekil 5.3 Aralık ayında Pazartesi günü saatlere göre trafik yoğunluğundaki değişim

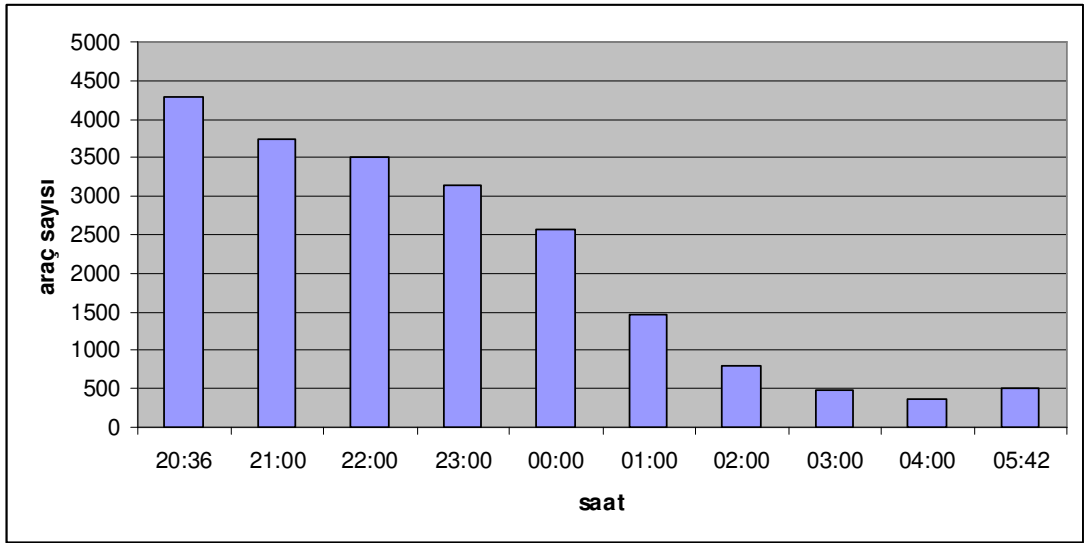


Şekil 5.4 Aralık ayında Cumartesi günü saatlere göre trafik yoğunluğundaki değişim

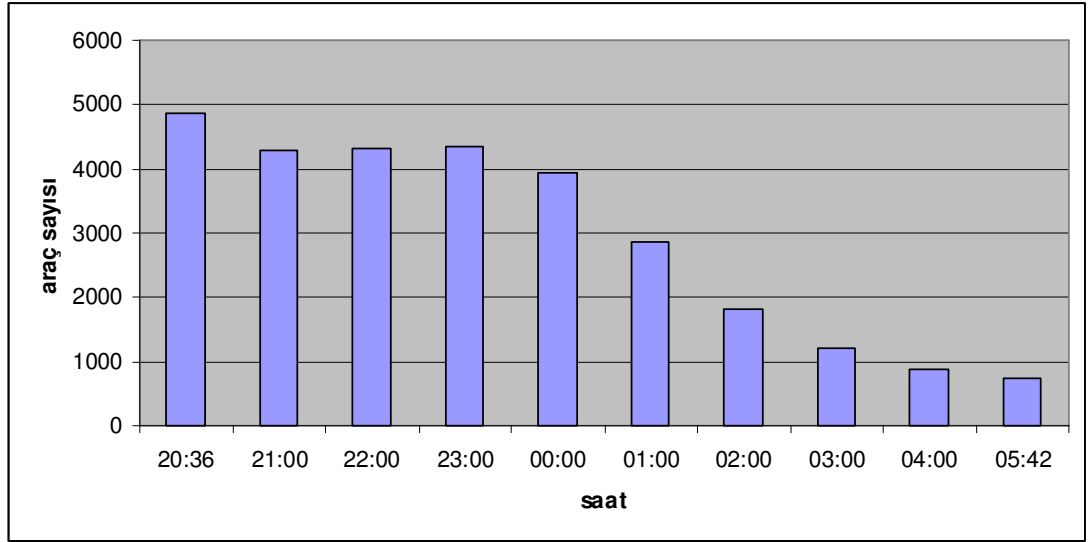


Şekil 5.5 Aralık ayında Pazar günü saatlere göre trafik yoğunluğundaki değişim

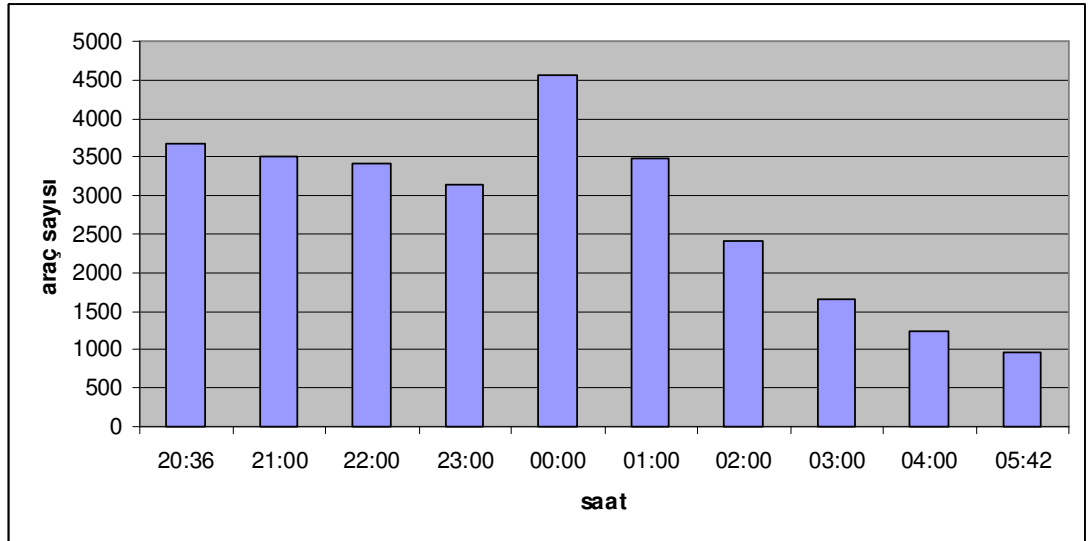
Yaz aylarına örnek olarak Temmuz ayı için Pazartesi, Cumartesi ve Pazar günlerine ait trafik yoğunlukları Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de verilmiştir.



Şekil 5.6 Temmuz ayında Pazartesi günü saatlere göre trafik yoğunluğundaki değişim



Şekil 5.7 Temmuz ayında Cumartesi günü saatlere göre trafik yoğunluğundaki değişim



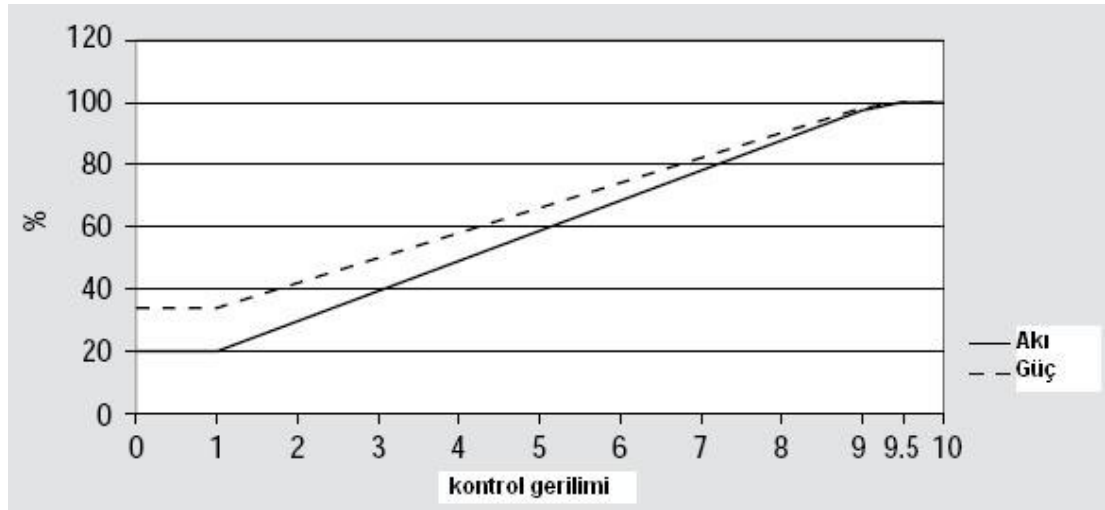
Şekil 5.8 Temmuz ayında Pazar günü saatlere göre trafik yoğunluğundaki değişim

Ek A'da verilen tablolarda, güneş doğuş ve batış saatleri dikkate alınarak aylara göre hangi saatlerde kaç araç geçtiği gösterilmiştir. Bu tablolar üzerinde, Tablo 5-7'deki araç sayılarına göre seçilecek olan aydınlatma sınıfında, Tablo 5-8'deki değerleri sağlayacak şekilde yapılacak olan loşlaştırma seviyeleri, farklı değerlerde gölgelendirilerek belirtilmiştir. Gölgelendirme yapılmamış olan alanlar loşlaştırma yapılmayacağını, hafif gölgeli alanlar ışık akısının %70'e düşürüleceği saatleri, orta derecede gölgeli alanlar ışık akısının %50'ye düşüleceği saatleri en koyu gölgeli alanlar ise ışık akısının %35'e düşürüleceği saatleri göstermektedir.

Otomasyon sistemi farklı cihazlar kullanılarak kurulabilmektedir. Aşağıda uygulanabilecek iki farklı çözüm oluşturulmuştur.

5.2.1 Birinci Çözüm

İlk çözüm Avrupa'daki Telemangement uygulamalarında da kullanılan, loşlaştırma yanında lamba durum bilgilerinin de uzaktan izlenebildiği OLC (Outdoor Luminaire Controller-Dış Aydınlatma Kontrolörü) ve "segment controller" (yerel kontrol ünitesi) cihazlarından oluşan bir sistemdir. Bu sistem kullanılarak yukarıdaki tablolarda verilen şekilde loşlaştırma yapmak mümkün olmaktadır. Philips, 250 W yüksek basınçlı sodyum buharlı lambanın loşlaştırılması için manyetik balast ve elektronik kontrol ünitesinden oluşan bir balast sistemi üretmektedir. Bu balast sistemi ve OLC cihazı otomasyonsuz sistem için kullanılan aynı armatür içine yerleştirilebilmektedir. OLC ile balast arasında 1-10V analog haberleşme protokolü kullanılmaktadır. 100 adet OLC bir yerel kontrol ünitesinden kontrol edilmektedir. Bu sistem ile ışık akısı %100 ile %20 arasında ayarlanabilirken, sistem gücü %100 ile %35 arasında değişmektedir. Philips ürün kataloğunda bir armatürün toplam sistem gücü (lamba+balast) %100 çalışmada 285W olarak verilmektedir. Katalogta verilen ışık akısı ile sistem gücü değişimi Şekil 5.9'da verilmektedir.



Şekil 5.9 Loşlaştırma için kullanılacak sistem için ışık akısı ve gücün kontrol gerilimine göre değişimi

Farklı aydınlatma sınıfları için sağlanması gereken yol parlaklığı düzeyini verecek şekilde hesaplanan ışık akısı değerleri ile grafikte bu değerlere karşılık gelen sistem gücü Tablo 5-9'da verilmektedir.

Tablo 5-9 Farklı aydınlatma sınıfları için ışık akısı ve sistem gücü değerleri

Aydınlatma sınıfı	Işık akısı (lumen)	Bağlı Işık akısı (%)	Sistem gücü (W)	Bağlı Sistem Gücü (%)
M2	33200	100	285	100
M3	23240	70	213,75	75
M4	16600	50	171	60
M5	11620	35	128,25	45

Ek A'da yer alan tablolar kullanılarak aylara göre armatürlerin farklı güçlerdeki toplam çalışma saatleri hesaplanmış ve Tablo 5-10'da verilmiştir.

Tablo 5-10 Farklı sistem güçlerinde çalışma saatleri

Aylar	Güç			
	%100	%75	%60	%45
Ocak	188,42	73	81,33	99
Şubat	156,87	52	61,2	99,53
Mart	179,25	41,93	50,2	97
Nisan	130	55,65	41,85	88
Mayıs	110,45	54,73	46	78,66
Haziran	113	30	49,8	70,7
Temmuz	119,4	31	51,42	79,76
Ağustos	122,45	43	58,17	90
Eylül	148,5	39	59,5	95
Ekim	171,3	54,73	69,73	100
Kasım	207,5	63,8	55,2	92
Aralık	226,83	48,4	87,33	89
Toplam	1873,97	587,25	711,73	1078,67

Otomasyonlu sistemin maliyeti hesaplanırken otomasyonsuz sistem için kullanılan aynı formüller (denklem 5-1 ve 5-2) ile hesap yapılmış ancak burada ilk tesis maliyetine otomasyon sisteminde kullanılan ek cihazların fiyatları eklenmiş, yıllık

enerji tüketim maliyeti, yeni sistem güçlerine göre yeniden hesaplanmıştır. Armatür malzeme maliyeti, lamba, balast ve OLC ünitesini kapsamaktadır. Bir adet yerel kontrol ünitesi ile 100 armatür kontrol edildiğinden, bu tesisattaki 40 adet armatür için tabloda verilen yerel kontrol ünitesinin maliyeti gerçek maliyetin 0,40 katıdır. Bu verilere göre otomasyon sistemi kurulması halindeki ilk tesis maliyeti Tablo 5-11’de verilmiştir.

Tablo 5-11 Otomasyonlu sistem ilk tesis maliyeti

Maliyete etki eden parametreler	miktar	birim
Direk sayısı	20	adet
Direk malzeme maliyeti	514,11	YTL
Direk montaj maliyeti	165,555	YTL
Armatür sayısı	40	adet
Armatür malzeme maliyeti	1360	YTL
Armatür montaj maliyeti	42,13	YTL
Yerel kontrol ünitesi maliyeti	552,24	YTL
Kablo uzunluğu	1600	metre
Kablo malzeme fiyatı	7,85	YTL
Kablo montaj fiyatı	15,23	YTL
Toplam	107 377	YTL

Otomasyonsuz sistemin ilk tesis maliyeti 77 758YTL olarak hesaplanmış olduğundan, otomasyonlu sistemin ilk tesis maliyeti 29 619 YTL yani yaklaşık olarak % 38 daha pahalı olmaktadır.

Otomasyon sistemi kurulduğundaki yıllık enerji tüketim maliyeti Tablo 5-12’de verilmiştir.

Tablo 5-12 Otomasyonlu sistem yıllık enerji maliyeti

Maliyete etki eden parametre	miktar	birim
%100 sistem gücü	285	W
%100 çalışma süresi	1873,97	Saat
%75 sistem gücü	213,75	W
%75 çalışma süresi	587,25	Saat
%60 sistem gücü	171	W
%60 çalışma süresi	711,73	Saat
%45 sistem gücü	128,25	W
%45 çalışma süresi	1078,67	saat
kWh fiyatı	0,13773	YTL
Toplam	5 067	YTL

Buna göre yıllık enerji tüketim maliyeti otomasyonsuz tesisata göre 1 398 YTL yani % 21,3 oranında azalmıştır.

Otomasyon sistemi kurularak elde edilecek enerji tasarrufu ile sistemin ilk tesis maliyetindeki farkı geri ödemesi beklenmektedir. Buna göre 29 619 YTL'lik ilk tesis maliyet farkı için yıllık 1 398 YTL enerji tasarruf maliyeti ile geri ödeme süresi 21,2 yıl olarak hesaplanmaktadır.

5.2.2 İkinci Çözüm

İkinci bir alternatif olarak armatür içine yerleştirilecek olan bir anahtarlama ünitesi ile balastın kontrol edildiği bir sistem düşünülmüştür. Bu sistem ile yalnızca loşlaştırma yapılabilen, lamba bilgileri uzaktan izlenememektedir. Anahtarlama ünitesi ile yalnızca %100 ve %50 seviyelerinde loşlaştırma yapılabilir. Bu durumda %70 seviyesinde ve %35 seviyesinde loşlaştırma yapılamayacağı için her zaman gerekli parıltı kriterlerinin sağlanabilmesi için; birinci çözümde bu loşlaştırma seviyelerinin uygulandığı saatlerde bir üst seviye kabul edilecektir. Diğer bir deyişle, ilk çözümde %100 ve %70 seviyelerinin tamamı ikinci çözümde %100, ilk çözümdeki %50 ve %35 seviyelerinin tamamı ikinci çözüm için %50 kabul edilir. Bu durumda saatlere göre loşlaştırma seviyelerine ait tablolar Ek B'de verilmiştir.

Bu sistemi gerçekleştirmek için yapılacak ilk tesis maliyeti Tablo 5-13'de verilmiştir. Birinci çözümde farklı olarak armatür içinde OLC yerine bir anahtarlama ünitesi

kullanılmaktadır. Balast sistemi için lamba + balast gücü Tablo 5-9'da verildiği gibidir.

Tablo 5-13 Alternatif sistem ilk tesis maliyeti

Maliyete etki eden parametreler	miktar	birim
Direk sayısı	20	adet
Direk malzeme maliyeti	514,11	YTL
Direk montaj maliyeti	165,55	YTL
Armatür sayısı	40	adet
Armatür malzeme maliyeti	814,5	YTL
Armatür montaj maliyeti	42,13	YTL
Yerel kontrol ünitesi maliyeti	1104,48	YTL
Kablo uzunluğu	1600	metre
Kablo malzeme fiyatı	7,85	YTL
Kablo montaj fiyatı	15,23	YTL
Toplam	85 005	YTL

77 758 YTL ilk tesis maliyeti olan otomasyonsuz sisteme göre iki kademeli loşlaştırma yapmak için kurulacak bu alternatif sistem 7 247 YTL yani % 9,3 daha pahalı olmaktadır.

Alternatif sistemde, aydınlatma tesisatı toplam 4 251,62 çalışma saatinin 2 461,2 saatinde % 100 seviyesinde, 1 790,4 saatinde % 50 seviyesinde çalışacaktır. Enerji tasarrufuna bağlı olarak yıllık enerji maliyetleri de azalacaktır. İki kademeli sistem için hesaplanan enerji maliyeti de Tablo 5-14'de verilmiştir.

Tablo 5-14 Alternatif sistem yıllık enerji maliyeti

Maliyete etki eden parametre	miktar	birim
%100 sistem gücü	285	W
%100 çalışma süresi	2461,2	Saat
%60 sistem gücü	171	W
%60 çalışma süresi	1790,4	Saat
kWh fiyatı	0,13773	YTL
Toplam	5 551	YTL

Buna göre yıllık enerji maliyeti otomasyonsuz sistemden 914 YTL, yaklaşık % 14 daha az olacaktır.

Alternatif sistemin geri ödeme süresi de 7,9 yıl olarak hesaplanabilmektedir.

6 SONUÇ

Enerji tasarrufuna yönelik çalışmalar dünya çapında gittikçe önem kazanarak uygulanmaktadır. Her alanda etkisini gösteren enerjiyi verimli kullanma çabası özellikle son yıllarda yol aydınlatma tesisleri için de geçerli hale gelmiştir. En basit olarak verimsiz ışık kaynaklarının daha verimli olan yenileriyle değiştirilmesi düşünülebilir. Bunun yanında, günümüzdeki teknolojik gelişmeler, gerekli olandan daha fazla aydınlatma yapılan saatlerde ışık kaynaklarının ışık akılarının ve böylece güç tüketimlerinin azaltılmasını sağlayarak daha fazla enerji tasarrufu elde edilmesine olanak tanımaktadır.

Yol aydınlatmasının esas amacına uygun olarak, konforlu ve güvenli bir trafik sağlayabilmek üzere tesis edilen ışık kaynakları ve armatürler, yol yüzeyinde gerekli olan parlaklık kriterlerini sağlamak zorundadır. Enerji tasarrufu, yol üzerindeki konfor ve güvenlik koşullarından ödün vermeksizin gerekli görüş koşulları sağlanarak yapılmak zorundadır. Aksi halde, birer atlamalı gibi rast gele kabullerle yapılmaya çalışılan enerji tasarruf çalışmaları can ve mal güvenliğini tehlikeye sokarak çok daha fazla maliyetlerle sonuçlanabilmektedir. Gerekli yol aydınlatması kalite kriterleri zamana bağlı olarak değişebilmekte, trafik yoğunluğunun azaldığı saatlerde aydınlatma ihtiyacı da azalmaktadır. Bu durumda ise ışık kaynakları gerekli olandan daha fazla aydınlatma yaparak enerjinin boşa harcanmasına neden olmaktadır. Özellikle şehir içindeki yollar üzerindeki koşullar gün içerisinde çok fazla değişebilmektedir. Hafta içi günlerde iş başlangıç ve bitiş saatlerine, ya da hafta sonunda eğlence ve dinlenme merkezlerine olan talebe bağlı olarak bir yol üzerinde farklı saatlerde farklı trafik yoğunlukları görülebilmektedir. Özellikle, aydınlatmanın çalışmaya devam ettiği gece geç saatlerde trafik yoğunluğu azalmaktadır. Yol aydınlatması otomasyon sistemlerinin amacı ışık kaynaklarının akı değerlerini kontrol ederek, aynı tesis ile yol üzerindeki farklı koşullara uygun aydınlatma yapılmasını sağlamaktır.

Yol aydınlatma otomasyon sistemlerinde trafik yoğunluğunun yanında meteorolojik koşullar da dikkate alınabilmekte ve sis, aşırı yağış gibi görme koşullarını

etkileyecek durumlarda parıltı düzeyi arttırılabilmektedir. Buna örnek olabilecek olan Hollanda'daki uygulamada henüz daha ölçülebilir bir fayda sağlanamamıştır. Bu nedenle loşlaştırma stratejileri genellikle trafik yoğunluğuna bağlı olarak belirlenmektedir.

Lambaların ışık akılarının loşlaştırılması için çeşitli yöntemler kullanılabilmektedir. Ancak son yıllardaki genel eğilim elektronik kontrol sistemleri kullanılması yönündedir. Bu şekilde hem loşlaştırma yapılmakta hem de aynı elektronik kontrol ünitesi sayesinde lamba bilgileri bir merkezden takip edilerek bakım çalışmalarının iyileştirilmesi ve enerji tüketiminin izlenmesi gerçekleştirilmektedir. Ancak bu sistemler halen oldukça pahalı ve geri ödeme süresi uzun olan tesisatlardır.

Dünya'da; Finlandiya, İngiltere, Hollanda, Norveç, İsveç, Amerika Birleşik Devletleri, Çin gibi çeşitli ülkelerde pilot projeler gerçekleştirilmiş ve kurulan otomasyon sistemleri sayesinde % 20 ila % 30 oranlarında enerji tasarrufları elde edilmiştir.

Türkiye'de yol aydınlatmaları toplam elektrik enerjisi tüketiminin yaklaşık %3'ünü oluşturmaktadır. Lamba akım, gerilim ve arıza bilgilerini izlemek için bir sistem kurma çalışması içinde olan İstanbul Belediyesi bünyesindeki Şehir Aydınlatma ve Enerji Müdürlüğü'nün herhangi bir loşlaştırma uygulaması bulunmamaktadır.

Bu çalışmada, loşlaştırma yapılabilen yol aydınlatma sistemlerine yönelik olarak hazırlanan, ancak henüz taslak halinde olan CIE 115 no'lu yayının 2008 versiyonu yürürlüğe girdiği zaman, Türkiye'de gerçekleştirilecek bir uygulama ile nasıl sonuçlar alınacağına dair bir örnek ortaya konmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, İstanbul şehir içindeki bir ana güzergah yolunda otomasyon sistemi kurulması halinde elde edilecek tasarruf ve maliyetlere ilişkin bir değerlendirme yapılmıştır.

İlk olarak seçilen yolun standart bir aydınlatma tesisatı ile aydınlatıldığı kabul edilmiştir. Uluslar arası Aydınlatma Komisyonu (CIE) önerilerine göre M2 olarak belirlenen yol sınıfına uygun parıltı kriterleri sağlanacak şekilde tesisat bilgileri oluşturulmuştur. Bu standart yol aydınlatması sistemi için maliyet hesaplamaları yapılmıştır.

Daha sonra aynı yol üzerinde bu kez bir loşlaştırma düzenekli otomasyon sistemi kurulduğu düşünülmüştür. Otomasyon sisteminin çalışma koşullarını belirlemek için öncelikle seçilen yol üzerinde haftanın günlerine göre saatte geçen ortalama araç

sayısı bilgileri elde edilmiştir. Bu araç sayısı bilgileri kullanılarak Avrupa Birliği (CEN) standardında belirlenen kriterler yardımıyla farklı araç sayıları için kabul edilecek aydınlatma sınıfları belirlenmiştir. Seçilen yol üzerinde farklı saatlerde M2, M3, M4 ve M5 olmak üzere 4 farklı aydınlatma sınıfına göre aydınlatma yapılabileceği ortaya çıkmıştır. Bu aydınlatma sınıfları için gerekli parlı hesaplamaları yapılarak 250 W yüksek basınçlı sodyum buharlı lambanın % 100, % 70, % 50 ve % 35 seviyesinde ışık akısı değerleri ile sırasıyla M2, M3, M4 ve M5 sınıfları için uygun kriterlerin sağlandığı görülmüştür.

Loşlaştırma için iki farklı olasılık belirlenmiştir. Bunlardan ilkinde, Avrupa'da kullanılan Telemangement sistemleri örnek alınmış ve Philips marka OLC ve segment kontrolör cihazları kullanıldığı düşünülmüştür. Bu sistemde lamba durumu da uzaktan izlenebilmektedir. İstenen akı değerlerine karşılık gelen sistem güçleri ürün kataloğunda verilen grafikler kullanılarak sırasıyla %100, %75, %60 ve %45 olarak belirlenmiştir. Bu sistem için yapılan maliyet hesapları sonucunda ilk tesis maliyetinin otomasyonsuz sisteme göre % 38 oranında daha pahalı olduğu, % 21,3 oranında enerji tasarrufu elde edilebildiği anlaşılmıştır. Sistemin geri ödeme süresi 21,2 yıl olarak bulunmuştur.

İkinci olasılıkta OLC yerine bir anahtarlama ünitesi kullanıldığı, ışık akısının % 100 ya da % 50 seviyelerinden birine ayarlanacak şekilde kontrol yapılacağı düşünülmüştür. Ancak bu alternatifte lamba izleme gibi bir fonksiyon bulunmamakta, sadece loşlaştırma yapılmaktadır. Lamba durumunu izlemek için ek sistemler gerekmektedir. Sadece loşlaştırma yapılabilen bu sistem için maliyet hesapları yapıldığında ilk tesis maliyeti otomasyonsuz sisteme göre % 9,3 daha pahalı iken, enerji tasarruf oranının da %14 olduğu sonucuna varılmıştır. Sistemin geri ödeme süresi de 7,9 yıl olarak hesaplanmıştır.

Kurulması amaçlanan otomasyon sistemleri oldukça pahalı, geri ödeme süreleri de uzun olduğu için hemen uygulanmaları kolay olmayan sistemlerdir. Ancak önemli enerji tasarruf yöntemleridir. Yapılan hesaplamalar gece saatlerinde de önemli miktarlarda trafik yoğunluğu olan bir ana cadde için yapılmıştır. Farklı tip yollar için loşlaştırma yapılan saat sayısının artabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu durumda enerji tasarrufu %20'nin de üzerine çıkabilecektir. Elektrik enerjisi üretiminde yaşanan sıkıntılar, var olan tehlikeler dikkate alındığında uygun devlet

politikaları ile bu tür geri ödeme süreleri ve tesis maliyetleri yüksek olan sistemlerin uygulamaları kolaylaştırılabilir.

Otomasyon sisteminin enerji tasarrufu yanında lamba arıza durumlarının takip edilmesi, enerji tüketiminin izlenmesi gibi faydaları da bulunmaktadır. Bakım çalışmalarında bir iyileşmeye yol açacak bu faydaların maliyete etkisi tam olarak hesaplanamadığı için bu çalışma kapsamında yapılan maliyet hesaplamalarına dahil edilememiştir. Bakım maliyetlerindeki azalmalar ya da etkin bir bakım yapılması sayesinde aydınlatma tesisatı ömrü ve verimindeki artıştan kaynaklanacak kazançlar eklendiğinde otomasyonlu sistem maliyeti de değişebilecektir. Dünyanın çeşitli ülkelerindeki eğilim paralelinde otomasyon sistemlerinde kullanılacak cihazlara olan talebin artması ile bu alandaki teknolojinin gelişmesi ve ilk yatırım maliyetlerinin azalması da beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **CIE Pub.115**, 1995. Recommendations for the Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic, International Commission on Illumination, Viyana
- [2] **Özkaya, M.**, 2004, Aydınlatma Tekniği , Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [3] **Onaygil, S.**, 2008, İTÜ Elektrik Mühendisliği Lisans Programı Dış Aydınlatma Dersi Notları, <<http://atlas.cc.itu.edu.tr/~onaygil>>.
- [4] **Manav, B.**, 2005. Ofislerde Aydınlik Düzeyi, Parıltı Farkı ve Renk Sıcaklığının Görsel Konfor Koşullarına Etkisi: Bir Model Çalışması, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] **CIE pub 140**, 2000. Road Lighting Calculations. International Commission on Illumination, Viyana
- [6] **Onaygil, S.**, 1998/12, Yol aydınlatma projelerinde yol sınıfının belirlenmesinin önemi, Kaynak Elektrik Dergisi, 125-132.
- [7] **Özkaya, M.**, 1990. Yol Aydınlatması, İTÜ Elektrik Elektronik Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi, İstanbul.
- [8] **CIE 66**, 1983, Road Surfaces and Lighting : Joint Technical Report CIE/PIARC.
- [9] **Güler, Ö., Onaygil, S.**, 2007. Yol Aydınlatması Tesisatlarında Armatür Fotometrik Değerlerinin Önemi, IV. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, İzmir.
- [10] **CIE Pub. 47**, 1979. Road Lighting for Wet Conditions, International Commission on Illumination, Viyana
- [11] **CIE Pub. 154**, 2003. The Maintenance of Outdoor Lighting Systems, International Commission on Illumination, Viyana.
- [12] **CIE Pub. 34**, 1977. Road Lighting Lantern and Installation Data - Photometrics, Classification and Performance, International Commission on Illumination, Viyana
- [13] **CIE Pub. 43**, 1979, Photometry of Floodlights, International Commission on Illumination, Viyana
- [14] **CIE Pub. 67**, 1986. Guide for the Photometric Specification and Measurement of Sports Lighting Installations, International Commission on Illumination, Viyana
- [15] **CIE Pub. 70**, 1987. Measurement of Absolute Luminous Intensity Distributions, International Commission on Illumination, Viyana
- [16] **CIE Pub. 121**, 1996. Technical Report the Photometry and Goniophotometry of Luminaires, International Commission on Illumination, Viyana

- [17] **CIE Pub. 23.1-1996** Revision 1, International Recommendations for Motorway Lighting, International Commission on Illumination, Viyana
- [18] **CIE Pub. 31**, 1976. Glare and Uniformity in Road Lighting Installations, International Commission on Illumination, Viyana
- [19] **CIE Pub. 93**, 1992. Road Lighting as an Accident Countermeasure (1st Edition), International Commission on Illumination, Viyana
- [20] **CIE Pub. 112**, 1994. Glare Evaluation System for Use Within Outdoor Sports and Area Lighting, International Commission on Illumination, Viyana
- [21] **Onaygil, S., Güler, Ö.**, 2005. TEDAŞ Yol Aydınlatma Tesisatları Bilgisayar Programı Kullanım Kılavuzu, İstanbul Teknik Üniversitesi
- [22] **Simpson, Robert S.**, 2003. Lighting Control: Technology and Applications, Robert S. Simpson, Focalpress, Italy.
- [23] **Yüksek Basınçlı Civa Buharlı Lambalar ve Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lambalar Teknik Şartnamesi**, 2008. Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. Malzeme Yönetimi Dairesi Başkanlığı.
- [24] **Royal Philips Electronics internet sitesi**, Mayıs 2008, <<http://www.lighting.philips.com>>
- [25] **Onaygil S., Güler Ö.**, 2005. Yol Aydınlatmasında Verimlilik, EVK 2005 1. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, s. 197-201, Kocaeli, 17-18 Mayıs.
- [26] **Application Guide to HID Lamp Control Gear**, Philips, Mayıs 2008, <http://www.lighting.philips.com/in_en/architect/lamps_leds_gear_innovations/application/downl_guide_hid.php>
- [27] **TEDAS-MYD/95-009.B**, 2006. Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. Malzeme Yönetimi Ve Satınalma Dairesi Başkanlığı, Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi
- [28] **DiLouie, C.**, 2005. Advanced Lighting Controls:Energy Savings, Productivity, Technology and Applications
- [29] **Sinewave Energy Technologies** internet sitesi, Mayıs 2008, <<http://www.sinewaveenergy.com/technology.html>>
- [30] **NEMA Standard Publication**, 243-2004 Digital Addressable Lighting Interface (DALI) Control Devices Protocol, PART 1-2004, General Requirements
- [31] **IEC Intelligent Technologies**, 2004. LONWORKS Technology Tutorial, Mayıs 2008, <<http://www.ieclon.com/LonWorks/LonWorksTutorial.html>>
- [32] **The LINUX Tutorial TCP/IP**, 2004. James Mohr., Mayıs 2008 <<http://www.linux-tutorial.info/modules.php>>
- [33] **ANSI E1.11, USITT DMX512-A**, Asynchronous Serial Digital Data Transmission Standard for Controlling Lighting Equipment and Accessories, Mayıs 2008, < www.usitt.org/standards/DMX512.html>

- [34] **Liping Guo, Marjukka Eloholma, DSc, and Liisa Halonen, D.Sc.**, 2008, Lighting Control Strategies for Telemangement Road Lighting Control Systems, LEUKOS VOL 4 NO 3 JANUARY.
- [35] **CEN/TC 169**, 2002, The selection of lighting classes for road lighting
- [36] **Intelligent Road and Street Lighting in Europe ,WP 3: Market penetration and procurement activities ,D 3.2: Report on small scale test projects, WP Leader: BSREC**, 2007
- [37] **TEDAŞ**, 2006, Türkiye Elektrik Dağıtım ve Tüketim İstatistikleri, <http://www.tedas.gov.tr>
- [38] **İstanbul Büyükşehir Belediyesi Şehir Aydınlatma ve Enerji Müdürlüğü** internet sitesi, Mayıs 2008, <<http://application2.ibb.gov.tr/aydinlatmaenerji/index.asp>>
- [39] **Garip, M. Kılıç, B.**, 2007. İstanbul İçin Sürdürülebilir Şehir Aydınlatma Politikası, IV. ULUSAL AYDINLATMA SEMPOZYUMU.
- [40] **Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Astronomi Laboratuvarı** internet sitesi, Mayıs 2008, <<http://fatin.koeri.boun.edu.tr/astronomy/dogus-batis/Istanbul.htm>>
- [41] **CIE Pub.115-2008 draft**, DS/TM Edit 4 - 9 March 2008. Recommendations for the Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic.

EK A**Tablo A-1** Birinci Çözüm; Ocak-Şubat ayları için saatlere göre geçen araç sayısı ve loşlaştırma seviyeleri

Ocak															
	17:05	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:21
Pazartesi	4470	4020	4050	3870	3450	3090	2430	1440	780	480	330	270	420	1710	3600
Salı	4560	4080	4020	3750	3450	3180	2580	1980	1530	1230	990	810	660	1620	3090
Çarşamba	4590	4050	3930	3900	3570	3450	2880	1650	930	540	360	270	390	1680	3690
Perşembe	4410	4050	4230	4080	3840	3600	3000	1890	1110	690	390	330	420	1650	3390
Cuma	4740	4350	4260	4470	4050	4020	3750	2010	1140	660	420	390	450	1800	3540
Cumartesi	4380	4200	4410	4260	3930	4020	4140	3180	2160	1560	1140	810	660	1170	2160
Pazar	4380	4140	3720	3000	2910	2670	2130	3780	2940	2250	1620	1200	810	960	1170
Şubat															
	17:41	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:54	
Pazartesi	4320	3750	3750	3540	3300	2970	2370	1410	780	480	330	270	450	1650	
Salı	4380	3690	4020	4050	3930	3570	3090	1590	870	480	300	270	450	1650	
Çarşamba	4320	3660	3690	3840	3690	3630	3210	1920	1050	600	390	330	450	1770	
Perşembe	4800	4620	4470	4440	4140	3840	3510	2310	1290	690	420	390	510	1830	
Cuma	4560	3900	3870	4200	4260	4200	4230	2430	1380	810	540	420	510	1830	
Cumartesi	4620	4500	4380	4170	4050	3930	4110	3420	2400	1770	1260	960	660	1230	
Pazar	4140	3930	3450	2910	2850	2640	2160	3630	2850	2250	1620	1260	810	870	

Tablo A-2 Birinci Çözüm; Mart-Nisan ayları için saatlere göre araç sayısı ve loşlaştırma seviyeleri

Mart													
	18:15	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:09
Pazartesi	4020	4140	3990	3750	3390	2700	1620	870	540	360	330	480	2100
Salı	4170	3930	4410	4020	3540	2910	1800	960	570	330	270	450	1980
Çarşamba	3930	3780	3810	4140	3720	3300	2010	1200	660	420	330	480	2100
Perşembe	3750	3900	3840	3990	3810	3270	2040	1110	630	420	330	540	2010
Cuma	3540	3750	4350	4470	4350	4230	2250	1230	720	480	420	510	1980
Cumartesi	4470	4440	4380	4320	4350	4620	3570	2460	1830	1350	990	780	1440
Pazar	4230	4020	3300	3390	3330	2520	4230	3270	2700	2040	1620	1140	1080
Nisan													
		19:48	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:20
Pazartesi		4230	3930	3810	3480	3000	1890	1020	630	390	360	480	1980
Salı		4200	4320	4170	3720	3240	1920	1020	600	360	300	450	1950
Çarşamba		4320	4410	4110	3570	3240	2460	1350	810	510	420	540	1950
Perşembe		4260	4500	4110	3840	3360	2580	1530	840	510	390	540	2010
Cuma		4320	4560	4470	4500	4440	2430	1320	780	540	450	510	2010
Cumartesi		5100	4710	4470	4500	4620	3690	2700	1920	1290	990	750	1380
Pazar		3900	3360	3300	3240	2850	4470	3750	2940	2160	1650	1050	960

Tablo A-3 Birinci Çözüm; Mayıs-Haziran ayları için saatlere göre araç sayısı ve loşlaştırma seviyeleri

Mayıs										
	20:19	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:41
Pazartesi	3930	3810	3480	3000	1920	1080	690	420	330	510
Salı	4320	4170	3720	3240	1920	1020	600	360	300	450
Çarşamba	4410	4110	3570	3240	2460	1350	810	510	420	540
Perşembe	3540	3450	3180	2790	2640	1500	900	600	510	1230
Cuma	4530	4080	4500	4320	2160	1260	720	480	420	540
Cumartesi	4860	4350	4650	5070	4020	2670	1950	1230	1050	750
Pazar	3030	3270	3420	3030	4560	3870	2820	2160	1530	1080
Haziran										
	20:40	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:28
Pazartesi	4290	3750	3510	3150	2580	1470	810	480	360	510
Salı	4560	4200	3930	3720	2310	1320	780	420	390	540
Çarşamba	4710	4170	4080	3930	2910	1530	870	540	390	540
Perşembe	4260	4080	3810	3660	2970	1710	930	570	480	630
Cuma	4830	4350	4350	4140	2820	1560	870	570	450	540
Cumartesi	4860	4290	4320	4350	3930	2850	1830	1200	870	750
Pazar	3660	3510	3420	3150	4560	3480	2400	1650	1230	960

Tablo A-4 Birinci Çözüm; Temmuz-Ağustos ayları için saatlere göre araç sayısı ve loşlaştırma seviyeleri

Temmuz											
	20:36	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:42	
Pazartesi	4290	3750	3510	3150	2580	1470	810	480	360	510	
Salı	4560	4200	3930	3720	2310	1320	780	420	390	540	
Çarşamba	4710	4170	4080	3930	2910	1530	870	540	390	540	
Perşembe	4260	4080	3810	3660	2970	1710	930	570	480	630	
Cuma	4830	4350	4350	4140	2820	1560	870	570	450	540	
Cumartesi	4860	4290	4320	4350	3930	2850	1830	1200	870	750	
Pazar	3660	3510	3420	3150	4560	3480	2400	1650	1230	960	
Ağustos											
	20:03	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:11
Pazartesi	4290	3600	3270	2820	2460	1320	750	480	360	510	1740
Salı	4500	4050	3630	3300	2160	1230	720	450	360	480	1620
Çarşamba	4620	3960	3780	3750	2490	1410	780	540	390	480	1710
Perşembe	4620	4170	3750	3540	2970	1740	960	600	480	570	1650
Cuma	4530	4200	3960	3750	2910	1620	930	570	450	510	1680
Cumartesi	4740	4200	4050	4050	3600	2460	1590	1020	720	660	1350
Pazar	3810	3420	3120	2880	4380	3450	2190	1620	1200	930	1020

Tablo A-5 Birinci Çözüm; Eylül-Ekim ayları için saatlere göre araç sayısı ve loşlaştırma seviyeleri

Eylül														
		19:15	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:40	
Pazartesi		4470	4140	4020	3660	3060	2280	1260	720	510	390	570	1830	
Salı		4500	4680	4440	4050	3480	2130	1260	690	420	360	510	1710	
Çarşamba		4620	4440	4170	3900	3420	2610	1380	780	510	390	540	1800	
Perşembe		4500	4380	4170	3870	3450	2670	1500	810	510	360	570	1800	
Cuma		4440	4530	4410	4320	4170	2400	1320	810	540	420	510	1710	
Cumartesi		4230	4410	4230	4170	4470	3360	2250	1500	1020	750	660	1230	
Pazar		3450	3810	3660	3480	3300	4170	3030	2070	1440	1020	840	930	
Ekim														
	18:25	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:12
Pazartesi	4110	4050	4200	3990	3660	2910	2040	1140	720	480	420	510	1680	3300
Salı	4290	4530	4380	4290	3810	3120	1890	1080	690	480	330	510	1800	3900
Çarşamba	4170	4350	4290	4200	3810	3420	2100	1110	690	420	360	510	1890	3840
Perşembe	4050	4170	4290	3870	3960	3450	2850	1380	810	540	420	540	1830	3630
Cuma	4380	4320	4440	4530	4560	4500	2490	1350	810	540	420	480	1650	3270
Cumartesi	4380	4560	4530	4380	4170	4410	3690	2580	1860	1380	990	780	1260	2040
Pazar	4170	3900	3600	3240	3240	2880	4050	3120	2460	1710	1230	870	990	1350

Tablo A-6 Birinci Çözüm; Kasım-Aralık ayları için saatlere göre araç sayısı ve loşlaştırma seviyeleri

Kasım																
	16:49	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:47	
Pazartesi	4770	4020	3510	3780	3840	3720	3330	2700	1770	930	540	390	330	480	1980	
Salı	4740	4080	3750	3780	3810	3990	3480	2940	1770	1020	510	330	300	420	1710	
Çarşamba	4740	4500	3930	3870	3810	3810	3360	3210	2010	1080	660	390	360	450	1890	
Perşembe	5010	4620	3900	3900	4230	4170	3990	3300	2490	1350	750	450	390	540	1950	
Cuma	4620	4200	3750	3510	3660	4410	4380	4290	2310	1260	750	510	420	480	1920	
Cumartesi	4590	4320	4230	4440	4440	4170	4410	4530	3630	2610	1920	1350	1020	810	1410	
Pazar	4710	4620	4470	4200	3450	3030	3000	2460	4200	3330	2580	1980	1380	930	990	
Aralık																
	16:42	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:17
Pazartesi	4830	4470	3420	3750	4020	3780	3510	3000	1710	960	570	390	330	450	1800	3720
Salı	4860	4320	3570	3810	4050	3870	3690	3210	1800	1020	600	330	300	450	1770	3810
Çarşamba	4650	4380	3750	3750	3660	3660	3390	2940	2220	1230	690	390	360	480	1770	3510
Perşembe	4350	3870	3780	4140	3870	3840	3810	3390	2400	1440	750	480	390	480	1590	3210
Cuma	4680	4410	3750	4350	4290	4110	4260	4110	2550	1410	840	570	450	510	1470	3000
Cumartesi	4620	4410	4560	4650	4290	4260	4200	4290	3720	2670	1830	1410	990	750	1200	2100
Pazar	4530	4260	4170	3780	3300	3180	2970	2430	4230	3300	2610	1950	1380	930	960	1230

EK B**Tablo B-1** İkinci Çözüm; Ocak-Şubat ayları için saatlere göre geçen araç sayısı ve loşlaştırma seviyeleri

Ocak															
	17:05	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:21
Pazartesi	4470	4020	4050	3870	3450	3090	2430	1440	780	480	330	270	420	1710	3600
Salı	4560	4080	4020	3750	3450	3180	2580	1980	1530	1230	990	810	660	1620	3090
Çarşamba	4590	4050	3930	3900	3570	3450	2880	1650	930	540	360	270	390	1680	3690
Perşembe	4410	4050	4230	4080	3840	3600	3000	1890	1110	690	390	330	420	1650	3390
Cuma	4740	4350	4260	4470	4050	4020	3750	2010	1140	660	420	390	450	1800	3540
Cumartesi	4380	4200	4410	4260	3930	4020	4140	3180	2160	1560	1140	810	660	1170	2160
Pazar	4380	4140	3720	3000	2910	2670	2130	3780	2940	2250	1620	1200	810	960	1170
Şubat															
	17:41	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:54	
Pazartesi	4320	3750	3750	3540	3300	2970	2370	1410	780	480	330	270	450	1650	
Salı	4380	3690	4020	4050	3930	3570	3090	1590	870	480	300	270	450	1650	
Çarşamba	4320	3660	3690	3840	3690	3630	3210	1920	1050	600	390	330	450	1770	
Perşembe	4800	4620	4470	4440	4140	3840	3510	2310	1290	690	420	390	510	1830	
Cuma	4560	3900	3870	4200	4260	4200	4230	2430	1380	810	540	420	510	1830	
Cumartesi	4620	4500	4380	4170	4050	3930	4110	3420	2400	1770	1260	960	660	1230	
Pazar	4140	3930	3450	2910	2850	2640	2160	3630	2850	2250	1620	1260	810	870	

Tablo B-2 İkinci Çözüm; Mart-Nisan ayları için saatlere göre araç sayısı ve loşlaştırma seviyeleri

Mart													
	18:15	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:09
Pazartesi	4020	4140	3990	3750	3390	2700	1620	870	540	360	330	480	2100
Salı	4170	3930	4410	4020	3540	2910	1800	960	570	330	270	450	1980
Çarşamba	3930	3780	3810	4140	3720	3300	2010	1200	660	420	330	480	2100
Perşembe	3750	3900	3840	3990	3810	3270	2040	1110	630	420	330	540	2010
Cuma	3540	3750	4350	4470	4350	4230	2250	1230	720	480	420	510	1980
Cumartesi	4470	4440	4380	4320	4350	4620	3570	2460	1830	1350	990	780	1440
Pazar	4230	4020	3300	3390	3330	2520	4230	3270	2700	2040	1620	1140	1080
Nisan													
		19:48	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:20
Pazartesi		4230	3930	3810	3480	3000	1890	1020	630	390	360	480	1980
Salı		4200	4320	4170	3720	3240	1920	1020	600	360	300	450	1950
Çarşamba		4320	4410	4110	3570	3240	2460	1350	810	510	420	540	1950
Perşembe		4260	4500	4110	3840	3360	2580	1530	840	510	390	540	2010
Cuma		4320	4560	4470	4500	4440	2430	1320	780	540	450	510	2010
Cumartesi		5100	4710	4470	4500	4620	3690	2700	1920	1290	990	750	1380
Pazar		3900	3360	3300	3240	2850	4470	3750	2940	2160	1650	1050	960

Tablo B-3 İkinci Çözüm; Mayıs-Haziran ayları için saatlere göre araç sayısı ve loşlaştırma seviyeleri

Mayıs										
	20:19	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:41
Pazartesi	3930	3810	3480	3000	1920	1080	690	420	330	510
Salı	4320	4170	3720	3240	1920	1020	600	360	300	450
Çarşamba	4410	4110	3570	3240	2460	1350	810	510	420	540
Perşembe	3540	3450	3180	2790	2640	1500	900	600	510	1230
Cuma	4530	4080	4500	4320	2160	1260	720	480	420	540
Cumartesi	4860	4350	4650	5070	4020	2670	1950	1230	1050	750
Pazar	3030	3270	3420	3030	4560	3870	2820	2160	1530	1080
Haziran										
	20:40	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:28
Pazartesi	4290	3750	3510	3150	2580	1470	810	480	360	510
Salı	4560	4200	3930	3720	2310	1320	780	420	390	540
Çarşamba	4710	4170	4080	3930	2910	1530	870	540	390	540
Perşembe	4260	4080	3810	3660	2970	1710	930	570	480	630
Cuma	4830	4350	4350	4140	2820	1560	870	570	450	540
Cumartesi	4860	4290	4320	4350	3930	2850	1830	1200	870	750
Pazar	3660	3510	3420	3150	4560	3480	2400	1650	1230	960

Tablo B-4 İkinci Çözüm; Temmuz-Ağustos ayları için saatlere göre araç sayısı ve loşlaştırma seviyeleri

Temmuz											
	20:36	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:42	
Pazartesi	4290	3750	3510	3150	2580	1470	810	480	360	510	
Salı	4560	4200	3930	3720	2310	1320	780	420	390	540	
Çarşamba	4710	4170	4080	3930	2910	1530	870	540	390	540	
Perşembe	4260	4080	3810	3660	2970	1710	930	570	480	630	
Cuma	4830	4350	4350	4140	2820	1560	870	570	450	540	
Cumartesi	4860	4290	4320	4350	3930	2850	1830	1200	870	750	
Pazar	3660	3510	3420	3150	4560	3480	2400	1650	1230	960	
Ağustos											
	20:03	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:11
Pazartesi	4290	3600	3270	2820	2460	1320	750	480	360	510	1740
Salı	4500	4050	3630	3300	2160	1230	720	450	360	480	1620
Çarşamba	4620	3960	3780	3750	2490	1410	780	540	390	480	1710
Perşembe	4620	4170	3750	3540	2970	1740	960	600	480	570	1650
Cuma	4530	4200	3960	3750	2910	1620	930	570	450	510	1680
Cumartesi	4740	4200	4050	4050	3600	2460	1590	1020	720	660	1350
Pazar	3810	3420	3120	2880	4380	3450	2190	1620	1200	930	1020

Tablo B-5 İkinci Çözüm; Eylül-Ekim ayları için saatlere göre araç sayısı ve loşlaştırma seviyeleri

Eylül														
		19:15	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:40	
Pazartesi		4470	4140	4020	3660	3060	2280	1260	720	510	390	570	1830	
Salı		4500	4680	4440	4050	3480	2130	1260	690	420	360	510	1710	
Çarşamba		4620	4440	4170	3900	3420	2610	1380	780	510	390	540	1800	
Perşembe		4500	4380	4170	3870	3450	2670	1500	810	510	360	570	1800	
Cuma		4440	4530	4410	4320	4170	2400	1320	810	540	420	510	1710	
Cumartesi		4230	4410	4230	4170	4470	3360	2250	1500	1020	750	660	1230	
Pazar		3450	3810	3660	3480	3300	4170	3030	2070	1440	1020	840	930	
Ekim														
	18:25	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:12
Pazartesi	4110	4050	4200	3990	3660	2910	2040	1140	720	480	420	510	1680	3300
Salı	4290	4530	4380	4290	3810	3120	1890	1080	690	480	330	510	1800	3900
Çarşamba	4170	4350	4290	4200	3810	3420	2100	1110	690	420	360	510	1890	3840
Perşembe	4050	4170	4290	3870	3960	3450	2850	1380	810	540	420	540	1830	3630
Cuma	4380	4320	4440	4530	4560	4500	2490	1350	810	540	420	480	1650	3270
Cumartesi	4380	4560	4530	4380	4170	4410	3690	2580	1860	1380	990	780	1260	2040
Pazar	4170	3900	3600	3240	3240	2880	4050	3120	2460	1710	1230	870	990	1350

Tablo B-6 İkinci Çözüm; Kasım-Aralık ayları için saatlere göre araç sayısı ve loşlaştırma seviyeleri

Kasım																
	16:49	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:47	
Pazartesi	4770	4020	3510	3780	3840	3720	3330	2700	1770	930	540	390	330	480	1980	
Salı	4740	4080	3750	3780	3810	3990	3480	2940	1770	1020	510	330	300	420	1710	
Çarşamba	4740	4500	3930	3870	3810	3810	3360	3210	2010	1080	660	390	360	450	1890	
Perşembe	5010	4620	3900	3900	4230	4170	3990	3300	2490	1350	750	450	390	540	1950	
Cuma	4620	4200	3750	3510	3660	4410	4380	4290	2310	1260	750	510	420	480	1920	
Cumartesi	4590	4320	4230	4440	4440	4170	4410	4530	3630	2610	1920	1350	1020	810	1410	
Pazar	4710	4620	4470	4200	3450	3030	3000	2460	4200	3330	2580	1980	1380	930	990	
Aralık																
	16:42	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:17
Pazartesi	4830	4470	3420	3750	4020	3780	3510	3000	1710	960	570	390	330	450	1800	3720
Salı	4860	4320	3570	3810	4050	3870	3690	3210	1800	1020	600	330	300	450	1770	3810
Çarşamba	4650	4380	3750	3750	3660	3660	3390	2940	2220	1230	690	390	360	480	1770	3510
Perşembe	4350	3870	3780	4140	3870	3840	3810	3390	2400	1440	750	480	390	480	1590	3210
Cuma	4680	4410	3750	4350	4290	4110	4260	4110	2550	1410	840	570	450	510	1470	3000
Cumartesi	4620	4410	4560	4650	4290	4260	4200	4290	3720	2670	1830	1410	990	750	1200	2100
Pazar	4530	4260	4170	3780	3300	3180	2970	2430	4230	3300	2610	1950	1380	930	960	1230

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Aydın'da doğan Burcu Büyükkınacı, 1997 yılında Beşiktaş Atatürk Anadolu Lisesi'nden mezun olduktan sonra, aynı yıl başladığı Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Lisans Programı'nı 2002 yılında tamamladı. 2002-2007 yılları arasında EGES Elektrik Elektronik Gereçler Sanayi A.Ş.'de Ar-Ge bölümünde tasarım mühendisi olarak çalıştı. 2007 yılında İTÜ Enerji Enstitüsü Enerji Bilimi ve Teknolojileri Yüksek Lisans Programı'na başladı.