

T.C.  
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

YOL AYDINLATMASINDA KULLANILAN LAMBALARIN KARŞILAŞTIRMALI  
ANALİZİ

Yüksel DEMİR

EYLÜL 2020

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

YOL AYDINLATMASINDA KULLANILAN LAMBALARIN KARŞILAŞTIRMALI  
ANALİZİ

Hazırlayan  
Yüksel DEMİR

Danışman  
Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ

Jüri Üyeleri  
Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ  
Dr. Öğr. Üyesi Behçet KOCAMAN  
Dr. Öğr. Üyesi Serhat Berat EFE

EYLÜL 2020

## ONAY

Yüksel DEMİR tarafından hazırlanan “**Yol Aydınlatmasında Kullanılan Lambaların Karşılaştırmalı Analizi**” adlı tez çalışması 23.09.2020 tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’ndan YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ

(Danışman)

Dr. Öğr. Behçet KOCAMAN

(Üye)

Dr. Öğr. Serhat Berat EFE

(Üye)

---

---

---

Bu tezin kabulü, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../...gün ve .../... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Zeki ARGUNHAN

Enstitü Müdürü

**BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**  
**YÜKSEK LİSANS / DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI**  
**ETİK BEYAN**

Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre hazırlamış olduğum “**Yol Aydınlatmasında Kullanılan Lambaların Karşılaştırmalı Analizi**” adlı tezimin özgün bir çalışma olduğunu, tez hazırlanırken tüm aşamalarda bilimsel etik ilkelerine uygun davrandığımı, tez kapsamında sunulan tüm verileri bilimsel etik ilkelerine uygun elde ettiğimi, tezde faydalandığım tüm eserlere atıf yaptığımı ve kaynaklar kısmında bu eserleri gösterdiğimi beyan ederim. 23/09/2020

**Yüksel DEMİR**

## ÖZET

### YOL AYDINLATMASINDA KULLANILAN LAMBALARIN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Yüksel DEMİR

Yüksek Lisans Tezi

Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ

Eylül 2020, 85 sayfa

Elektrik enerjisine olan talebin her geçen gün artması nedeniyle elektrik enerjisinin verimli ve daha tasarruflu kullanılması kaçınılmaz hale gelmiştir. Ülkemizde enerjide dışa bağımlılığı azaltmak için, enerjinin kullanıldığı alanları mercek altına alıp, mevcut sistemlerin teknoloji ile daha iyi bir düzeye getirmek için çeşitli adımlar atılmaktadır.

Bu çalışma alanlarından birisi de enerjinin tüketildiği aydınlatmadır. Ülkemizde tüketilen enerjinin yaklaşık % 20'si aydınlatmada kullanılmaktadır. Aydınlatmada, yol aydınlatmasının payı yüksektir. Ayrıca dış aydınlatmanın içinde yol aydınlatmasının kontrol ve gözlenebilirliği kolay olduğundan bu alanda çalışma yapmak ülkeler açısından daha kolaydır. Ülkemizde yeni nesil teknolojilere hızla benimsenmekte, takip edilmekte ve uygulanmaktadır. Yol aydınlatmalarında kullanılan lambalar ve armatürler teknoloji ile birlikte sürekli değişim göstermiştir.

Bu tez çalışmasında, yol aydınlatmasında kullanılan lambaların karşılaştırmalı analizleri yapılmıştır. Yol aydınlatmasında kullanılan lambaların yeni nesil teknolojik olan lambalar ile sürekli değişip günümüze kadar gelmiştir. Ülkemizde yol aydınlatmasında hali hazırda en çok kullanılan yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalardır. Ayrıca yeni nesil teknolojik lambalar olarak kabul edilen LED lambalar da aydınlatma piyasasında geniş kullanım alanı bulmaya başlamıştır. Bu çalışmada diğer lambaların analizi ile birlikte aydınlatma tesislerinde en fazla tercih edilen yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar ile LED lambaların analizi yapılmıştır. Bu analizleri kıyas etmede DIALux programı kullanılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Yol Aydınlatması, Yol Aydınlatma Sınıfları, Lambalar, Armatürler, LED, DIALüx.

## ABSTRACT

### COMPARATIVE ANALYSIS OF LAMPS USED IN ROAD LIGHTING

Yüksel DEMİR

Master Thesis

Bitlis Eren University Graduate Education Institute  
Department of Electrical and Electronics Engineering  
Supervisor: Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ

September 2020, 85 pages

As the for electricity increases day by day, efficient and more economicak use of electricity become inevitable. In our country, it takes various measurements to reduce the dependence on foreign energy, for his reason, to check the areas which enrgy is used and to improve the existing systems with technology.

One of these areas of work is lighing, which energy is consumed. Approximately 20 % of energy consumed in our contry is used in lighting. The share of road lighing is high in total illumination. In addition, it is easy for countries to work in this area, since road lighting is easy to control and observe inside exterior lighting. In our country, new generetion Technologies ara rapidlyadopted, follewed and implemented. Lamps and fixtures are used in road lighting have constantly changed with developmentof technology.

In this thesis, the comparative analysis of the lamps which are used in road road lighting was made. The new generations of lamps which in used road lighting, have changed with old ones and have survived to the present day. High pressure sodium vapoer lamps that are currently used in road lighting in our country. LED lamps, which are accepted as new generation technological lamps, have started to find wide use in the lighting markets. In this study, analysis of other lamps weere made but mostly high pressure sodium vapor lamps and LED lamps were analyzed. DIALüx program was used to compare these analyzes.

**Keywords:** Road Lighting, Road Lighting Classes, Lambs, Fixtures, LED (Light Emitting Diode), DIALüx.

## TEŞEKKÜR

Öncelikle bu tez çalışması sırasında her türlü bilgi, teŐvik ve deneyimleri ile yardımlarını esirgemeyen, üzerimde büyük emeği olan danışman hocam Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ'ye ve katkılarından dolayı Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Öğretim Üyelerine teŐekkürü bir borç bilirim. Ayrıca aydınlatma projesinde kullanılan malzemeler ve dokümanları benimle paylaşan Muş Belediyesi'ne teŐekkürlerimi sunarım.

Gösterdikleri büyük emek, sabır ve fedakârlıkla bugünlere gelmemizin en büyük mimarları olan başta annem ve babam olmak üzere aile bireylerimin her birine ayrı ayrı teşekkür ederim.



## ÖNSÖZ

Gelişen ve sürekli teknolojik ilerlemeler kaydeden insanoğlu için aydınlatma bir ihtiyaç haline gelmiştir. Gerek iç aydınlatma olsun gerekse dış aydınlatma olsun insanoğlunun ihtiyaçları ve uygar dünyanın gereksinimlerine cevap verebilmek için elzem olan şeylerdir. Gündüz olan görme konforunun geceleri de sağlanması insanların güvenliği için önemlidir. Yapılan yol aydınlatmaları ile insanların can ve mal güvenliği önemli oranda artırılmıştır. Geceleri meydana gelen trafik kazalarında ve suç işleme oranlarında kayda değer azalmalar olmuştur. Yol aydınlatmaları belirlenen amaçlar doğrultusunda yapıldığında daha iyi sonuçlar alınmaktadır. Bunun için yol aydınlatma sınıflarına göre aydınlatmanın yapılması gerekir. Bu önemli kriterler ile birlikte aydınlatmada kullanılan armatürlerin ve lambaların en verimlileri kullanılmalıdır. Son teknolojik ürünler akredite laboratuvarlarda test edilmeli ve önceden kullanılanlar ile sağlam bir şekilde artıları ve eksileri düşünüldükten sonra sahaya uygulanmalıdır. Burada da dikkat edilmesi gereken en önemli konulardan biri de proje tasarımıdır. En verimli ve teknolojik cihazlar bile tasarım eksikliğinden atıl durumlara gelebilir.

Bu tez çalışmasında, yol aydınlatmasında kullanılan lambaların karşılaştırılması yapıp avantaj ve dezavantajları belirtilmiştir. Yol aydınlatmasında en çok kullanılan yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar ile yeni nesil teknolojik LED lambalar DIALüx programı yardımıyla aynı yol aydınlatmasında detaylı bir şekilde karşılaştırılmıştır. Ülkemizin enerjide dışa olan bağımlılığı problemi ortada iken enerji tüketen tüm sistemlerin titizlikle irdelenmesi gerekir. Yol aydınlatmasında da ciddi bir enerji tüketimi olduğundan bu sistemler de incelenmelidir. Bu çalışma enerji tasarrufu sağlayan yol armatürleri incelenip, projelerin maliyet analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışma ile aydınlatma sistemlerine bütüncül bakılarak yol aydınlatmasında kullanılması uygun olan lamba türlerinin seçilmesi sağlanmaktadır.

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

<b>ÖZET</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	iv
<b>ÖNSÖZ</b> .....	v
<b>İÇİNDEKİLER DİZİNİ</b> .....	vi
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	ix
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	x
<b>KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	xii
<b>SİMGELER DİZİNİ</b> .....	xiii
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	4
2.1. Çalışmanın Amacı .....	4
2.2. Aydınlatma Çeşitleri.....	4
2.2.1. İç Aydınlatma.....	4
2.2.2. Dış Aydınlatma .....	5
2.3. Dış Aydınlatmanın Temel Prensipleri .....	5
2.4. Yol Aydınlatması İle İlgili Temel Kavramlar .....	5
2.4.1. Işık.....	6
2.4.2. Işık Akısı.....	7
2.4.3. Işık Şiddeti .....	7
2.4.4. Aydınlık Düzeyi (lüminans) .....	8
2.4.5. Renksel Geriverim .....	9
2.4.6. Renk Sıcaklığı.....	9
2.4.7. Parıltı .....	10
2.4.8. Kontrast .....	11
2.4.9. Kamaşma .....	12
2.4.10. Etkinlik Faktörü .....	13
2.4.11. Ortalama Ömür .....	13
2.4.12. Ekonomik Ömür.....	14
2.5. Yol Aydınlatmasında Kullanılan Lambalar (Işık Kaynakları) .....	15
2.5.1. Yüksek Basıncılı Civa Buharlı Lambalar .....	15
2.5.2. Metal Halojen Lambalar (Metal Halide Lambalar) .....	18

2 5.3. Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı Lambalar .....	20
2.5.4. Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lambalar .....	23
2.5.4.1. Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lambaların Çalıştırılması İçin Gereken Yardımcı Elemanlar .....	26
2.5.4.2. Balast.....	26
2.5.4.3. Ateşleyici (İgnitör).....	28
2.5.4.4. Kompanzasyon Kondansatörü ve Bobini.....	29
2.5.5. LED lambalar.....	30
2.5.5.1. LED Çipi .....	32
2.5.5.2. LED Modülü.....	33
2.5.5.3. Soğutucu.....	34
2.5.5.4. Optik Lens (Mercek).....	35
2.5.5.5. Kontrol Devresi, Güç Kaynağı ve Sürücü Devresi.....	35
2.5.6. Lambaların Karşılaştırılmalı Analizi.....	37
2.5.6.1. LED ve Metal Halojen ( Metal Halide) Lambaların Karşılaştırılması .....	37
2.5.6.1.1. Işık Kaynağı Olarak Karşılaştırılması .....	37
2.5.6.1.2. Optik ve Işık Rengi Bakımından Karşılaştırma .....	39
2.5.6.2. LED ve Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lambaların Karşılaştırılması.....	39
2.5.6.2.1. Işık Kaynağı Olarak Karşılaştırılması .....	40
2.5.6.2.2. Optik ve Işık Rengi Bakımından Karşılaştırma .....	41
2.5.7. TEDAŞ'ın Işık Kaynakları İle İlgili Uygulamaları.....	41
2.6. Yol Aydınlatmasında Kullanılan Armatürler .....	42
2.6.1. Armatürler.....	42
2.6.2. Işık Dağılım Yüzeyi .....	44
2.6.3. Armatürlerin Fotometrik Özelliklerine Göre Sınıflandırılması .....	44
2.6.3.1. C Düzlemleri ve Gamma ( $\gamma$ ) Açılıarı.....	44
2.6.3.2. Yayılma Derecesine Göre .....	47
2.6.3.3. Saçılma Derecesine Göre .....	47
2.6.3.4. Kamaşma Derecesine Göre .....	47
2.6.3.5. IP Sınıflarına Göre Armatürlerin Sınıflandırılması .....	49
2.6.4. Armatürlerin Bakım-İşletme Faktörü.....	50
2.7. Yol Aydınlatma Tasarımında Kullanılan Kalite Büyüklükleri .....	51
2.7.1. Hesap Alanı.....	51
2.7.2. Yolun Yansıtma Özellikleri.....	54

2.7.3. Ortalama Parıltı Düzeyi(Lort).....	54
2.7.4. Ortalama Parıltı Düzgünlüğü (U0).....	56
2.7.5. Boyuna Parıltı Düzgünlüğü (UL) .....	57
2.7.6. Kamaşma Eşik Artışı, TI (%) .....	58
2.7.7. Çevre Aydınlatma Oranı (SR) .....	59
2.7.8. Görsel ve Optik Kılavuzlama .....	59
2.7.9. Uluslararası Standart ve Önerilere Göre Aydınlatma Tasarım Kriterlerinin Belirlenmesi.....	60
<b>3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>	<b>68</b>
3.1. Sokak Aydınlatmasında Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lambadan Led Lambaya Dönüşümü Yapılan Bir Tesisatın Analizi.....	68
3.1.1. Çalışma Sahası.....	68
3.1.2. Kullanılan Yöntem.....	71
3.1.3. Enerji Tüketim Oranları .....	72
3.1.4. Kurulum Maliyeti.....	73
3.1.5. Sistemin Amorti Süresi.....	75
<b>4. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>80</b>
<b>5. KAYNAKLAR .....</b>	<b>82</b>
<b>6. EKLER .....</b>	<b>84</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>85</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b><u>ÇİZELGE</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
2.1. LED, metal halojen ve civa buharlı lambaların karşılaştırılması.....	38
2.2. LED ve metal halojen lambaların enerji dönüşüm karşılaştırılması .....	38
2.3. LED ve yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların karşılaştırılması.....	40
2.4. TEDAŞ yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba standartları.....	41
2.5. TEDAŞ MYD/94-001.B. nolu teknik şartnameye göre lambalar.....	42
2.6. C düzlemleri ve $\gamma$ (gamma) açıları ile tanımlanan örnek ışık şiddet tablosu.....	45
2.7. Yayılım derecesine göre armatürler .....	47
2.8. Saçılma derecesine göre armatürler .....	47
2.9. CIE'ye göre armatür sınıflandırılması .....	48
2.10. Armatürlere ait IP koruma sınıfları .....	50
2.11. CIE'ye göre armatürlerin bakım işletme faktörü.....	51
2.12. Türkiye şehir içi yolları ve aydınlatma sınıfları.....	61
2.13. CIE 115- 2010'a göre M aydınlatma sınıfını belirlemede kullanılan parametreler.....	62
2.14. Farklı aydınlatma sınıfları için sağlanması gereken aydınlatma kalite büyüklükleri .....	63
2.15. 150 Watt LED lamba ile M5 sınıfına ait Araç Yolu 1 'de sağlanan değerler .....	63
2.16. 150 Watt LED lamba ile M5 sınıfına ait Araç Yolu 2 'de sağlanan değerler .....	65
2.17. 250 Watt YBSBL ile M5 sınıfına ait Araç Yolu 1 'de sağlanan değerler .....	66
2.18. 250 Watt YBSBL ile M5 sınıfına ait Araç Yolu 2 'de sağlanan değerler .....	67
3.1. Muş İli İstasyon Caddesi mevcut direk ve armatür sayıları .....	72
3.2. Muş İli İstasyon Caddesi'ndeki güç tasarruf miktarı .....	73
3.3. Alüminyum direkli ve LED armatür ile oluşan maliyet .....	74
3.4. Beton direkli ve YBSB armatür ile oluşan maliyet .....	74
3.5. Tüm direk tiplerine göre LED armatür ile oluşan maliyet .....	74
3.6. Tüm direk tiplerine göre YBSB armatür ile oluşan maliyet .....	75
3.7. Aydınlatma tesisinde sadece armatür değiştirilirse oluşan maliyet .....	75
3.8. YBSBL ile LED lambanın yıllık tüketim bedelleri .....	76
3.9. YBSB ile LED lambanın farklı direk tipine göre kullanıldığında oluşan maliyet farkı ve amorti süreleri.....	77

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b><u>SEKİL</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
2.1. Elektromanyetik dalga ve görünür ışık tayfı .....	6
2.2. CIE'ye göre spektral göz duyarlılığı eğrisinin renksel gösterimi .....	7
2.3. Aydınlık düzeyi ve ışık akısı .....	8
2.4. Rensel geriverim tablosu .....	9
2.5. Renk sıcaklığı skalası .....	10
2.6. Göze etki eden tek fotometrik büyüklük parıltı (luminans) .....	11
2.7. Tam ve düşük kontrast renk görünümleri .....	12
2.8. LED yapılan yol aydınlatmasında bariz görülen kamaşma .....	13
2.9. Kullanım kapasitesi-ortalama lamba ömrü grafiği .....	14
2.10. Işık akısı- ekonomik lamba ömrü grafiği .....	14
2.11. Yüksek basınçlı civa buharlı lamba .....	15
2.12. Yüksek basınçlı civa buharlı lambanın iç yapısı .....	16
2.13. Yüksek basınçlı civa buharlı lambanın elektrik devresi .....	17
2.14. Metal halojen lamba .....	18
2.15. Metal halojen lambanın iç yapısı .....	19
2.16. Alçak basınçlı sodyum buharlı lambanın iç yapısı .....	21
2.17. Alçak basınçlı sodyum buharlı lamba .....	21
2.18. Alçak basınçlı sodyum buharlı lambanın elektrik devresi .....	22
2.19. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambanın iç yapısı .....	24
2.20. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba .....	24
2.21. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambanın elektrik devresi .....	25
2.22. Deşarj lambalar için gerilim akım grafiği .....	27
2.23. Manyetik balast .....	27
2.24. Elektronik balast .....	28
2.25. Ateşleyici (ignitör) .....	29
2.26. LED lambalar .....	30
2.27. 150 Watt LED sokak lambası .....	30
2.28. Tipik bir LED modülü .....	32
2.29. LED çipleri .....	33
2.30. 300 W beyaz Cobal LED modülü .....	34
2.31. LED sürücü devresi .....	36

**SEKİL****Sayfa**

2.32. Dış aydınlatma armatürünün yapısı.....	43
2.33. C düzlemleri ve $\gamma$ açıları.....	46
2.34. C0-180/C90-270 ışık dağılım eğrileri .....	46
2.35. Ekranlı tip armatüre ait ışık dağılım eğrisi.....	49
2.36. Yarı ekranlı tip armatüre ait ışık dağılım eğrileri .....	49
2.37. Ekransız tip armatüre ait ışık eğrileri .....	49
2.38. Hesap alanında yer alan büyüklükler .....	53
2.39. Gözlemcilerin hesap alanına göre konumları .....	55
2.40. Yol sınıflarının parıltı düzeyi ve gözlemci konumları .....	56
2.41. Boyuna parıltı düzgünlüğü .....	57
2.42. Kamaşma eşik artışı (TI) ve örtü parıltısı.....	58
2.43. Çevre aydınlatma oranı hesabı.....	59
3.1. LED dönüşüm yapılan Muş İli İstasyon Caddesi .....	69
3.2. LED dönüşümü yapıldıktan sonra Muş İli İstasyon Caddesi .....	69
3.3. Muş İstasyon Caddesi mevcut aydınlatma direği .....	70
3.4. Muş İli İstasyon Caddesi mevcut aydınlatma armatürleri.....	70
3.5. Muş İli İstasyon Caddesi yeni aydınlatma armatürleri.....	71
3.6. LED aydınlatmada direk tipine göre oluşan maliyet grafiği .....	78
3.7. YBSB aydınlatmada direk tipine göre oluşan maliyet grafiği .....	78
3.8. LED aydınlatmada kullanılan direk tipine göre amorti süresi grafiği.....	79

## KISALTMALAR DİZİNİ

CIE	International Commission on Illumination (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu)
IP	International Protection (Koruma Sınıfı)
AC	Alternating Current (Alternatif Akım)
DC	Direct Current (Doğru Akım)
BF	Bakım Faktörü
TS	Türk Standardı
EN	European Norm (Avrupa Birliği Standardı)
BS	British Standards (İngiliz Standardı)
CEN	The European Committee for Standardization (Avrupa Birliği Standardizasyon Komitesi)
DIN	Deutsches Institut für Normung (Alman Sanayii Standartları)
TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
VEDAŞ	Vangözü Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
ARAS EDAŞ	Aras Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
MYD	Malzeme Yönetim Dairesi
SBA	Santrifüj Betonarme
HPS	Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba
HID	Yüksek Yoğunluklu Deşarj Lambaları
LED	Light Emitting Diode (Işık Yayan Diyot)
AFT	Ağırlık Faktörlerinin Toplamı
CERN	Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi
LOR	Light Output Ratio (Armatür Verimi)
DIALüx	Aydınlatma Hesaplarının Yapıldığı Program
Wh	Watt Saat
PFC	Power Factor Correction (Güç Faktörünü Düzeltme)
NM	Nano Metre
UV	Ultraviyole
YBSBL	Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba
YBCBL	Yüksek Basınçlı Civa Buharlı Lamba
ABSBL	Açak Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba



## SİMGELER DİZİNİ

V	Gerilim
I	Akım
$\Phi$	Işık Akısı (lm)
$K_0$	Enerji Akısının Fotometrik Eşdeğeri
F	Enerji Akısı
I	Işık Şiddeti
E	Aydınlık Düzeyi (lx)
L	Parıltı (cd/m <sup>2</sup> )
P	Aktif Güç
Ra	Renksel geriverim
D	Noktalar Arası Boyuna Mesafe (m)
S	Armatürler Arasındaki Mesafe (m)
N	Hesap Noktası Sayısı
Wş	Şerit Genişliği (m)
W	Watt
$\gamma$	Düşey Dikme ile Gelen Işın Arasındaki Açık
C	Fotometrik Azimut Açısı
H	Armatürün Yoldan Yüksekliği
$L_{ort}$	Ortalama Parıltı Düzeyi
$U_0$	Ortalama Parıltı Düzgünlüğü
$U_L$	Boyuna Parıltı Düzgünlüğü
TI	Bağıl Eşik Artışı
$V_\lambda$	Gözün Spektral Duyarlılığı
K	Kelvin
$\eta$	Etkinlik Faktörü
kPa	Kilo Paskal
Hz	Hertz
mA	Mili Amper

## 1. GİRİŞ

Ülkelerin artan nüfus yoğunlukları ve toplumsal ihtiyaçlar, ticari ilişkiler ve ulaşım ihtiyaçları neticesinde kara yollarındaki trafik yoğunluğu artmakta, risksiz taşımacılık daha önem kazanmaktadır. Ülkemizde yol aydınlatmalarında tüketilen elektrik enerjisi, toplam tüketilen elektrik enerjisinin %3'ne denk gelmektedir. Ülkemizde üretilen elektrik enerjisinin %55,86'sı yenilenemeyen enerji kaynaklarından elde edilmektedir. Ayrıca bu enerjinin %39,66'sı dışarıdan ithal edilen kömür ve doğalgazdan üretilmektedir. Bu da elektrik enerjisi tüketen mevcut ve yapılacak aydınlatma tesisatlarının gözden geçirilmesi ihtiyacını doğurmaktadır. Karayollarında hem gündüz hem de geceleri trafik yoğun olarak devam etmektedir. Güneş battıktan sonra arabanın kendi ışığı ile sürücülerin aydınlatma ihtiyacı kısmen karşılanırsa da yolların trafik yoğunluğu ve araçların hızları düşünüldüğünde söz konusu aydınlatmayı araç farları ile sağlamak mümkün değildir. Yerleşim yerlerinin yoldan geçen araç farları ile aydınlatılması düşünülemez. Bunun sürücülere ve yayalara; konforlu, güvenli ve görme koşulları için gerekli kriterler sağlanarak aydınlatma yapılmalıdır. Ayrıca yerleşim yerlerinin halka açık, umumi yerlerin aydınlatılması güvenlik açısından çok önemlidir. Aydınlatma sayesinde yerleşim yerlerinde suç oranları ciddi şekilde düşmektedir. Yol aydınlatmaları yapılırken göz önünde bulunması gereken öneriler ve standartlar vardır. Bunlar bu çalışmanın içerisinde detaylı bir şekilde işlenmiştir.

Yapılan literatür çalışmalarında, yol aydınlatmasında kullanılan lambalar ve armatürler teknolojik gelişmeler ile sürekli değişerek günümüze gelmiştir. Bu değişim ve gelişmeler yol aydınlatması kalitesini artıracak ve aydınlatmada kullanılan sistemlerin verimliliği incelenmiştir. Onaygil vd. [1] aydınlatmanın temel kavramları ve bu kavramların aydınlatmada nasıl değerlendirilmesi gerektiğini anlatmaktadır. İç ve dış aydınlatmadaki ışık akılarının düzlemsel olarak incelenmesi verilmiştir. Onaygil vd. [2] yol aydınlatmada planlama ve yönetimin önemi vurgulanarak, cadde ve sokaklarda ülkemizdeki LED (Light Emiting Diode)'li uygulamalardan bahsedilmiştir. Bu uygulamaların Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) önerileri ve Avrupa Standartları (CEN) baz alınarak yapılması gerektiği belirtilmiştir. Bu öneri ve standartlara göre ülkemizde yol aydınlatma sınıfları belirlenmiştir. Yol aydınlatma sınıflarının nasıl belirlendiğini açıklanmaktadır [3]. Yol aydınlatmasında kullanılan teknikler belirtilmiştir. Çoban vd. [5] aydınlatmada kullanılan aydınlatma elemanlarının verimliliği ve enerji kalitesi üzerine etkileri incelenmiştir [4]. Yol aydınlatması ile ilgili temel kavramlar anlatılmaktadır [6]. Aydınlatma ile ilgili temel kavramlardan bahsedilmektedir [7]. Teke vd. [8] aydınlatma sistemlerinde enerji verimliliği sağlanarak iş yerlerinde iş gücünde verimliliğe katkı sağladığı belirtilmektedir. Ayrıca tasarruf ve verimlilik kavramlarının farkı belirtilmiştir. İş yerlerinde aydınlık düzeylerinin

artmasıyla önemli hataların azaldığı ve güvenliğin arttığı belirtilmektedir. Genel aydınlatma yönetmeliğinin kapsamı belirtilmiştir [9]. Yavuz vd. [10] şehirlerin nasıl aydınlatılması gerektiği ve standartlara uyulmadan yapılan veya rastgele yapılan aydınlatmaların ışık kirliliğine sebebiyet verildiği işlenmiştir. Yapılan aydınlatmalarda ortaya çıkan sorunlar irdelenmiştir. Kılıç vd. [11] kentsel dış mekânlarda LED aydınlatması uygulamalarının incelenmesi gerektiği belirtilerek enerji tasarrufu yapılması için son teknolojik LED'lerin aydınlatmada kullanılması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca LED'lerin artı eksi yönleri belirtilmiştir. Tayyebghasemi vd. [12] iç ve dış aydınlatmada kullanılan klasik ve yeni nesil ışık kaynakları karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırmada aydınlatmadan insanoğlunun nasıl etkilendiği vurgulanmıştır. Bu olumsuz etkilerin ortadan kaldırılması için çözüm yolları sunulmuştur. Kaya vd. [13] enerji verimliliğinde, aydınlatmada kullanılan lamba seçiminin önemine değinilmiştir. Aydınlatmada kullanılan lambalar teknik değerleri bazında mukayese edilmiştir. Örnek bir işletmede metal halojen lamba ile civa buharlı lambanın dönüşümü sonucunda ortaya çıkan sonuçlar verilmiştir. Toy vd. [14] yol aydınlatmasında kullanılan LED armatürlerin optik tasarımının önemi vurgulanmıştır. Ayrıca aydınlatma kalite büyüklük değerleri en yüksek olan M1 ve M2 yol sınıfları için mercek tasarlandığı belirtilmektedir. Bu tasarlanma bazı programlar ile gerçekleştirilmiştir. Aydınlatma tesislerinin temel kriterleri verilmiştir [15]. Yol aydınlatma teknikleri seminer sunumu halinde verilmiştir [16]. Onaygil vd. [17] aydınlatmada enerji verimliliği LED'li yol aydınlatma uygulamalarından örnek verilmiştir. Güler vd. [18] şehir içi yollarının aydınlatılması güvenlik açısından bir ihtiyaç olduğu belirtilmiştir. Aydınlatmada kullanılan verimi yüksek lambaların aydınlatma sisteminde herhangi bir değişiklik yapmadan sadece lamba değiştirilerek elde edilen tasarruf miktarı belirtilmiştir. Büyükkınacı vd. [19] yol aydınlatma sistemlerinde kontrollü aydınlatma yapmanın önemi belirtilmiştir. Yol aydınlatma tesisatlarında otomasyonla yapılan dimleme (loşlaştırma) sonucunda ortaya çıkan tasarruf miktarları belirtilmiştir. Trafik yoğunluğuna göre yapılan dimleme sonucunda enerjinin rastgele değil verimli bir şekilde kullanımı sağlanmıştır. Uluslararası aydınlatma komisyonunun yol aydınlatması ile ilgili önerilerini içermektedir [20]. Güler vd. [21] yol aydınlatmasında kullanılan armatürlerin fotometrik değerlerinin aydınlatmada önemli bir fonksiyonu olduğu belirtilerek lamban üretilen ışık akısının hedeflenen aydınlatma bölgesine ne ölçüde ulaştırdığı ile ilgili bir parametre olduğu belirtilmiştir. Ongun vd. [22] aydınlatma tesisatlarının tasarımlarında optimum kriterlerinin analiz yapılarak çözümler önerilmiştir. TEDAŞ'ın yol aydınlatma armatürlerinin sağlaması gereken özellikleri belirlenmiştir [23]. TEDAŞ'ın LED'li yol aydınlatma armatürlerinin sağlaması gereken özellikleri belirlenmiştir [24]. CIE'nin gelişmiş ülkelere yol aydınlatması için önerdiği uygulamaları içermektedir [25]. Özkaya vd. [26]

aydınlatma tekniğinin iç ve dış aydınlatmada nasıl olması gerektiği belirtilerek öneri ve standartlara göre aydınlatılacak yerlerin, hangi teknikle aydınlatılması gerektiği belirtilmiştir. Aydınlatma kavramlarının, aydınlatmadaki fonksiyonları detaylı olarak anlatılmıştır. Robert vd. [27] aydınlatmada kontrollerin teknolojik uygulamalar ile daha düzenli hale getirilerek aydınlatma tesisatları daha etkin bir biçimde kullanılabilceği belirtilmiştir. Trafik yoğunluğuna ve hava koşullarına göre dış aydınlatmanın otomasyon ile sağlanması gerektiği belirtilmiştir. YBSBL'nin sağlaması gereken kriterleri içermektedir [28]. İTÜ'nün LED ile ilgili çalışmalarını içermektedir [29]. Enerji Bakanlığı'nın LED aydınlatma ile ilgili çalışmasını içermektedir [30]. CIE'nin 2000 yılında önerdiği uygulamaları içermektedir [31]. MODULED Firmasının ürettiği LED 'ler ile ilgili bilgi vermektedir [32]. Onaygil vd. [33] yol aydınlatması ile ilgili meslek içi eğitim bilgilerini vermektedir. Rüstemli vd. [34] tünel aydınlatmasında LED aydınlatma uygulaması yapılmıştır.

Tez çalışması, dört bölümden ve iki ekten oluşmaktadır. Birinci bölümde tez konusu ile ilgili temel bilgiler ve şimdiye kadar yapılan çalışmalar açıklanmış, hazırlanan tezin literatürde doldurulması beklenen boşluk belirtilmiştir. Buna ek olarak aydınlatma kavramı ve çeşitleri anlatılmıştır. Ayrıca aydınlatma ile ilgili temel kavramlar hakkında bilgi verilmiştir. İkinci bölümde yol aydınlatmasında kullanılan ışık kaynakları (lambalar) hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca yol aydınlatmasında kullanılan armatürler ile ilgili veriler paylaşılmıştır. Bu bilgilere ilaveten yol aydınlatmasında sağlanması gereken hesap parametreleri ile ilgili bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde yüksek basınçlı sodyum buharlı lambadan LED dönüşüm yapılan bir pilot bölgede, sağlanması gereken hesap parametreleri DIALux programı yardımıyla işin karşılaştırılması yapılmıştır. Dördüncü bölümde ise yapılan tez çalışmasından elde edilen sonuçlar, bu sonuçların yararları ve uygulamada göz önünde bulundurulması gereken öneriler belirtilmiştir. Ayrıca yol aydınlatmasında temel amaç doğrultusunda neler yapılması gerektiği belirtilmiştir.

## **2. MATERYAL VE YÖNTEM**

Aydınlatma, bir ışık kaynağının bir başka nesneye veya belli bir çevreye ışık yollayarak ortamdaki nesnelerin görünürlüğünü sağlamasıdır. Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) aydınlatmayı, “nesnelerin ve çevrelerinin görülebilmesi için, ışık uygulamaktır” diye tanımlamaktadır. Bu tanımdan da açıkça anlaşılacağı üzere aydınlatmada amaç cisimlerin görünürlüklerini sağlamaktır.

### **2.1. Çalışmanın Amacı**

Bu çalışmanın amacı Muş İli İstasyon Caddesi (Bulvar)’nin mevcut durum aydınlatması santrifüj betonarme (SBA) 12/3 tipinde orta refüj ile aydınlatılmakta idi. Ancak Muş Belediyesi 2018 yılında bu caddede alt-üst yapı çalışmasını gerçekleştirirken aynı zamanda aydınlatma tesisatını da değiştirdi. Orta refüj aydınlatması yerine kaldırımında karşılıklı aydınlatma düzeninde yapılmıştır. Bu çalışmada yapılan aydınlatma tesisatında aydınlatma ne kadar enerji tasarruf edileceği, kurulum maliyetini ve sistemin kendini amorti süresi hesaplanacaktır. Ayrıca mevcut tesisattaki 250 W yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar ile Muş Belediyesi’nin kullandığı 150 W LED lambanın DIALüx programı yardımıyla aydınlatma kalite büyüklükleri kıyaslanacaktır. Net bir amorti süresinin çıkması için sahadan demontaj (sökülen) malzemenin, sahada kullanılacak olan malzeme ve montaj fiyatları “TEDAŞ 2018 Elektrik Proje ve Tesis Birim Fiyat Kitabı” baz alınmıştır. Birim fiyat kitabında bulunmayan LED armatür ve direk bedelleri imalatçı firmadan temin edilmiştir.

### **2.2. Aydınlatma Çeşitleri**

Aydınlatma mekânların fiziksel durumlarına göre, dış aydınlatma ve iç aydınlatma olarak ikiye ayrılmaktadır. Aydınlatmanın iç ve dış olması seçilecek malzemenin özellikleri ve koruma tipleri açısından önemlidir.

#### **2.2.1. İç Aydınlatma**

Çeşitli yapısal öğelerle dış çevreden ayrılan, iç mekânların aydınlatmasını konu alır. İç aydınlatmaya örnek olarak, okul, hastane, ev, mağazalar, otel, restoran, tiyatro, sinema, müze, depo ve işyerleri vb. alanların aydınlatılması verilebilir.

### **2.2.2. Dış Aydınlatma**

Dış aydınlatma, iç aydınlatmanın kapsamadığı tüm alanlardır. Başlangıçta güvenlik amacıyla yapılan dış aydınlatmalar bugün farklı alanlara ve farklı amaçlar ile yapılmaktadır. Dış aydınlatmaya örnek olarak, yollar, sokaklar, caddeler, bulvarlar, tarihi mekânlar, köprüler vb. alanların aydınlatılması verilebilir. Bu çalışmada, dış aydınlatmanın bir alanı olan yol aydınlatılmasından bahsedilecektir.

### **2.3. Dış Aydınlatmanın Temel Prensipleri**

Yapılan aydınlatma tesisatlarının amacına ulaşabilmesi için dış aydınlatma temel prensiplerine uyulmalıdır. Ayrıca yapılacak aydınlatma tesisatı dış aydınlatma temel kriterlerine uyulmadığında milli servet boşa harcanmış olur.

Aydınlatmadan maksimum derecede yararlanılabilmesi için aydınlatma yapılan yerin güvenliği ön planda tutulmalı, enerjinin verimli kullanılmasına ve ışık kirliliğine mahal vermeden, yapılacak tesisatın tasarımından kullanımına kadar uyulması gereken üç prensip aşağıda belirtilmiştir [26].

- a) İlgili standartlar ve Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE)'nin yayınları takip edilerek aydınlatılacak yere ve amaca uygun optimum çözümün elde edilebileceği aydınlatma kriterlerinin belirlenmesi,
- b) Fotometrik ve teknik özellikleri bilinen armatürler ile gerekli tasarım hesaplarının yapılması, sadece aydınlatılacak alana ışık gönderen armatür tip ve sayılarının belirlenmesi,
- c) Aydınlik şiddeti algılayıcı veya zaman kontrollü tesisat ile aydınlanmanın gerek duyulan zamanlarda ve gerektiği ölçüde yapılmasının sağlanması [19],

Yukarıda belirtilen aydınlatmanın temel prensiplerine uyulduğu takdirde enerji verimliliği, enerji tasarrufu, aydınlatmada uygun değer çözüm elde edilmiş olur ve ışık kirliliği önlenmiş olacaktır.

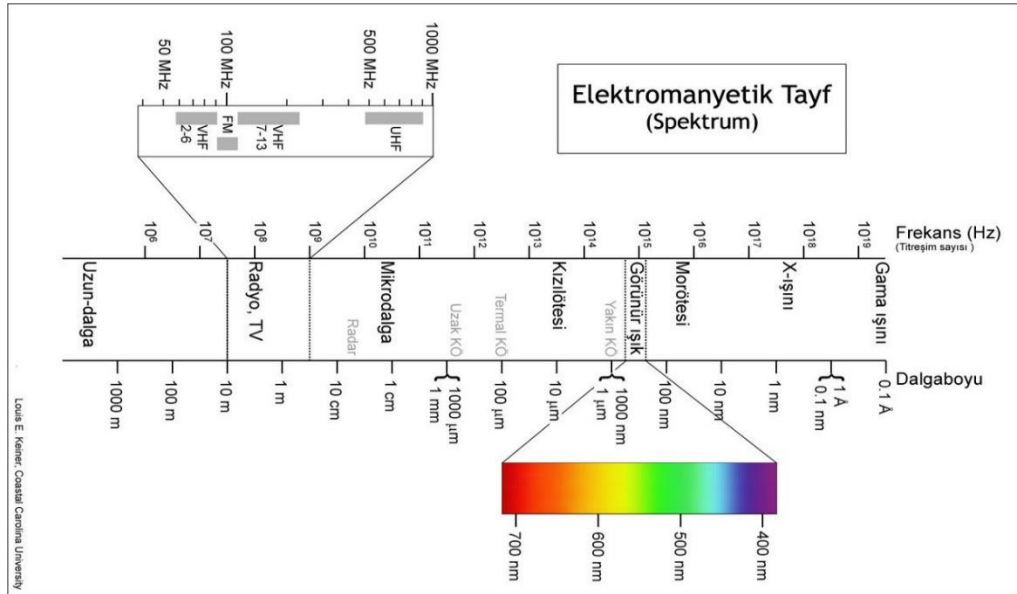
### **2.4. Yol Aydınlatması İle İlgili Temel Kavramlar**

Ülkemizde karayolları ulaşımında, yük taşımada ve bağlantı anlamında önemli bir konuma sahiptir. Teknolojik ilerlemeler ve toplumsal gelişmelerden karayollarının yoğunluğu

sürekli artmaktadır. Bu yollar gece ve gündüz demeden sürekli araçlar veya yayalar tarafından kullanılmaktadır. Geceleri araç farları sürücülere yolu kısmen aydınlatsa da istenen kriterlerdeki değeri sağlayamamaktadır. Özellikle şehirlerin giriş ve çıkışlarındaki kavşak ve bulvarlarda aydınlatma yetersizliğinden veya görsel kılavuzlama eksikliğinden kazalar meydana gelmektedir. Yayaların ve araçların güvenliğinin sağlanması ve kazaların önlenmesi açısından aydınlatma zaruri bir ihtiyaç haline gelmektedir.

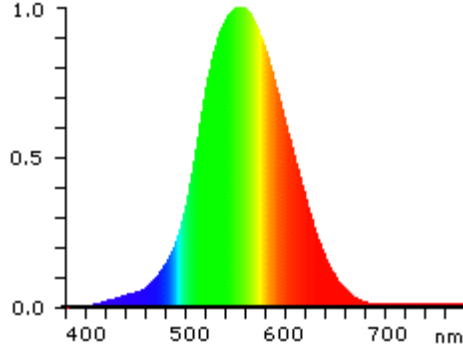
#### 2.4.1. Işık

Işık kaynağından çıkan bir ışımının, nesnelere çarparak veya direkt yansıması sonucu gözün görmesini sağlayan bir enerji şeklidir. Işığı ayrıca şöyle de tarif edebiliriz, doğrusal dalgalar halinde yayılan elektromanyetik dalgalarlardır. Kısaca ortamdaki cisimleri görmemizi sağlayan ve renkleri ayırt etmeye yarayan enerji şeklidir. Görünür ışık, dalga boyu 360 nm ile 830 nm arasındaki elektromanyetik ışınım olup, saniyede 300 bin kilometre hızla hareket etmektedir. Elektromanyetik dalga ve görünür ışık tayfı Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Elektromanyetik dalga ve görünür ışık tayfı

Gözün duyarlılığı ışığın dalga boyuyla değişir. Genel olarak gözün en büyük spektral duyarlılığına  $\lambda=555$  nm ışınlama haline erişildiğinde kabul edilir. Maksimum duyarlılığın olduğu 555 nm dalga boyunda yayılan gücün 1 watt'ı bir "ışık-watt" olarak tanımlanır [22]. CIE' ye Göre Spektral Göz Duyarlılığı Eğrisinin Renksel Gösterimi Şekil 2.2’de verilmiştir.



**Şekil 2.2.** CIE' ye göre spektral göz duyarlılığı eğrisinin renksel gösterimi

Şekil.2.2'den anlaşılacağı üzere, genel olarak gözün en büyük spektral duyarlılığına sarı-yeşil renkte ulaşır.

#### 2.4.2. Işık Akısı

Işık akısı, bir ışık kaynağının birim zaman içinde yaymış olduğu ışık miktarıdır. Ayrıca şöylede tarif edilebilir, insan gözünün spektral duyarlılığına karşı bir ışık kaynağı tarafından saniyede yayılan enerjidir. Işık akısı  $\Phi$  (fi) sembolü ile gösterilir. Birimi lümen'dir (lm).

$$\Phi = K_0 \cdot F \cdot V_\gamma \quad (2.1)$$

Burada  $K_0$  enerji akısının ışıkölçer değeri, F enerji akısı,  $V_\gamma$  gözün görüntüsel hassasiyetidir.

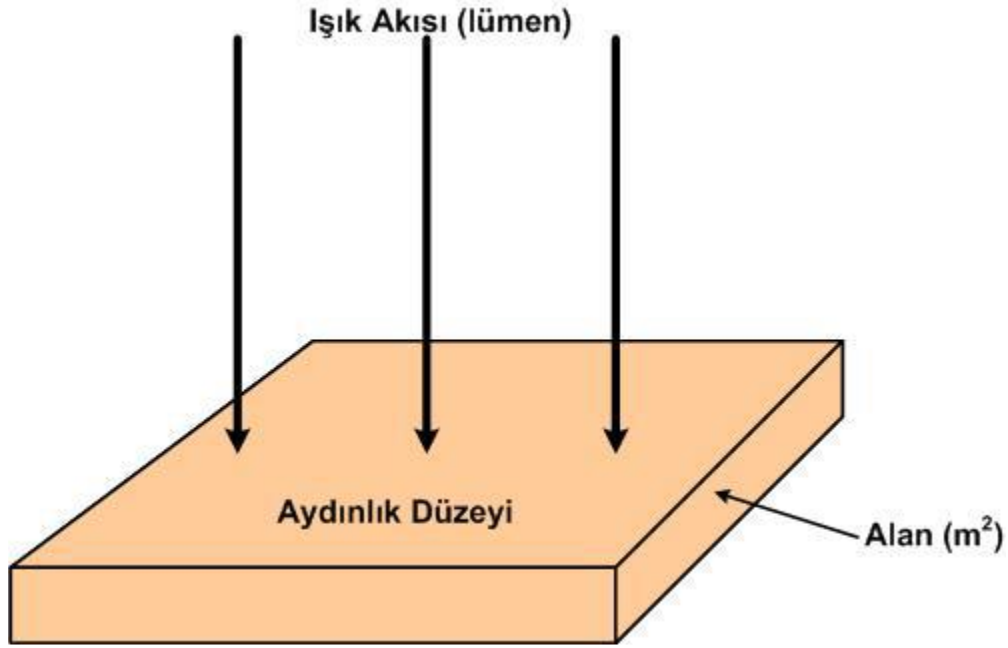
#### 2.4.3. Işık Şiddeti

Işık şiddeti bir ışık kaynağının belirli bir yönde yaydığı ışık miktarıdır. Işık şiddeti I sembolüyle ifade edilir. Birimi Kandela (cd)'dir. Kandela değeri bir ışık kaynağının ne kadar parlak olduğunu ifade eder. Kandela, ışık şiddetini tanımlamak için temel ölçümdür. Kandela için mum gücü ifadesini kullanmak doğru bir tanımlamadır. Basit bir karşılaştırma yapmak gerekirse; bir kandelanın tek bir mumdan ışığa eşit olduğu söylenebilir. Bir mum yaklaşık olarak bir kandelaya eşittir. (1 mum=1,02 cd)



#### 2.4.4. Aydınlık Düzeyi (lüminans)

Bir ışık kaynağı tarafından aydınlatılan birim yüzeye düşen ışık akısı miktarıdır. E harfiyle ifade edilir. Birimi lüks'tür. 1 lümen değerindeki ışık akısının 1 m<sup>2</sup> yüzeye eşit olarak düşmesi durumunda 1 lüks aydınlık şiddeti değeri elde edilmiş olur. Aydınlık düzeyi ve ışık akısı Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3. Aydınlık düzeyi ve ışık akısı

Işığın gelme yönünü 90 derece kesen düzlemdeki herhangi bir yerin aydınlık düzeyi, bu yer doğrultusundaki ışık şiddetinin, belirtilen yer ile ışık kaynağı arasındaki uzaklığın karesine bölünmesiyle elde edilir. Noktasal ışık kaynağı ile aydınlatılacak düzlem arasındaki mesafe d harfi ile belirtilirse, ışığın gelme yönünün dik düzlemdeki A noktasının aydınlık düzeyi;

$$EA = I/d^2 \quad (2.2)$$

olarak ifade edilir.

#### 2.4.5. Renksel Geriverim

Renksel geriverim, ışığın renkli bir obje üzerinde gerçekleştirdiği renksel etkidir. Bir ışık kaynağının, bir cismi gerçek renginde gösterebilme yeteneği olarak da tanımlanır. Renksel Geriverim'in özellikleri; ışık kaynağının gün ışığındaki gibi renk algılamasının hassas olabilmesi için son derece önemlidir. Bu özellikler "Genel Renksel Geriverim Endeksi"nde  $R_a$  olarak ifade edilir.  $R_a$  değeri  $0 < R_a < 100$  arasında değer alabilir. Renksel geriverim tablosu Şekil 2.4'te verilmiştir.

Renksel Geriverim Sınıfı	Renksel Geriverim Endeksi	Renksel Geriverim Özelliği	Renk Görünümü	Uygulama Örnekleri	
				Tercih Edilen	Kabul Edilen
1A	$R_a > 90$	Çok İyi	Sıcak Orta Sıcak Soğuk	Renk Karşılaştırması Klinik İncelemeler Resim Galerileri	
1B	$90 > R_a > 80$	Çok İyi	Orta Sıcak Soğuk	Ev, Otel, Dükkan Baskı, Boya, Tekstil	
2	$80 > R_a > 60$	İyi	Sıcak Orta Sıcak Soğuk	Endüstri işleri	Ofisler, Okullar
3	$60 > R_a > 40$	Orta		Kaba İşler	Endüstri İşleri
4	$40 > R_a > 20$	Kötü			Renk Ayrımının Önemli Olmadığı Endüstri İşleri

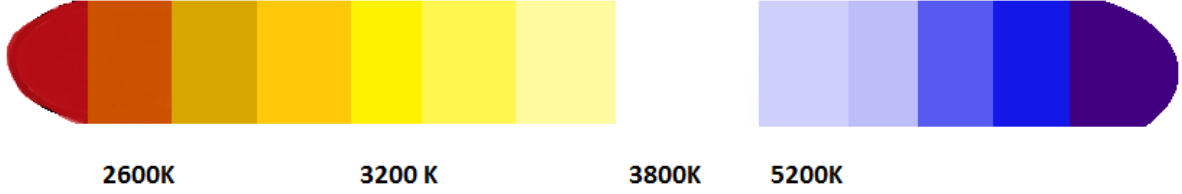
Şekil 2.4. Renksel geriverim tablosu

Aydınlatmalarda kullanılacak lambalar aydınlatılacak yere göre değişir. Aydınlatılacak yerlerin, seçilecek lambanın renksel geriverim değeri çok önemlidir. Özellikle renklerin çok hassas olduğu yerler için renksel geri verimi yüksek lambalar kullanılmalıdır. Aksi takdirde aydınlatılan cisimler farklı renkte görünecektir.

#### 2.4.6. Renk Sıcaklığı

Renk sıcaklığı; siyah renkteki bir kütlenin, belirlenmiş başka renkte bir ışık elde edilmesi amacıyla ısıtılması gereken sıcaklıktır. Birimi Kelvindir (K). Bu çerçevede mavi renk tonları yüksek renk sıcaklığını, kırmızı-sarı renk tonları ise Düşük Renk sıcaklığını ifade etmektedir. Renk sıcaklığı insanı psikolojik yönden etkilediği düşünülmektedir. Işık kaynakları, yaydıkları ışık renklerine göre sıcak-orta-soğuk olmak üzere 3 ana kategoride incelenir.

Renk sıcaklığı 3300 K ve altı “sıcak beyaz”, 3300 K ile 5300 K arasında olanlar “doğal beyaz” ve 5300 K’den büyük olanlar “gün ışığı beyazı” olarak tanımlanmaktadır [19]. Renk sıcaklığı skalası Şekil 2.5’te verilmiştir.



Şekil 2.5. Renk sıcaklığı skalası

#### 2.4.7. Parlıltı

Bir yüzeyin veya aydınlatılan nesnelerin göze ne kadar parlaklıkta algılanmasıdır. “L” harfiyle gösterilir. Birimi  $cd/m^2$ ’dir. Parlıltı, belirli bir açıdan veya bakış açısından ışıklı yüzeye bakan bir göz tarafından ne kadar ışık gücünün algılandığını ifade eder. Burada ışık yayan yüzey kendisi ışık sağlayan bir kaynak veya üretilen ışığı geçirip ve yansıtan bir armatür yüzeyi gibi birinci derecedeki aydınlatma kaynağı olabileceği gibi, başka bir aydınlatma kaynağından kendisine ulaşan ışığı yansıtan ikinci derecedeki bir ışık kaynağı da olabilir. Yol aydınlatma tekniğinde, yol yüzeyindeki parlıltı değerleri ile ilgilenilir. Yolu aydınlatan armatürlerin kendi parlıltılar ile ilgilenilmez [14].

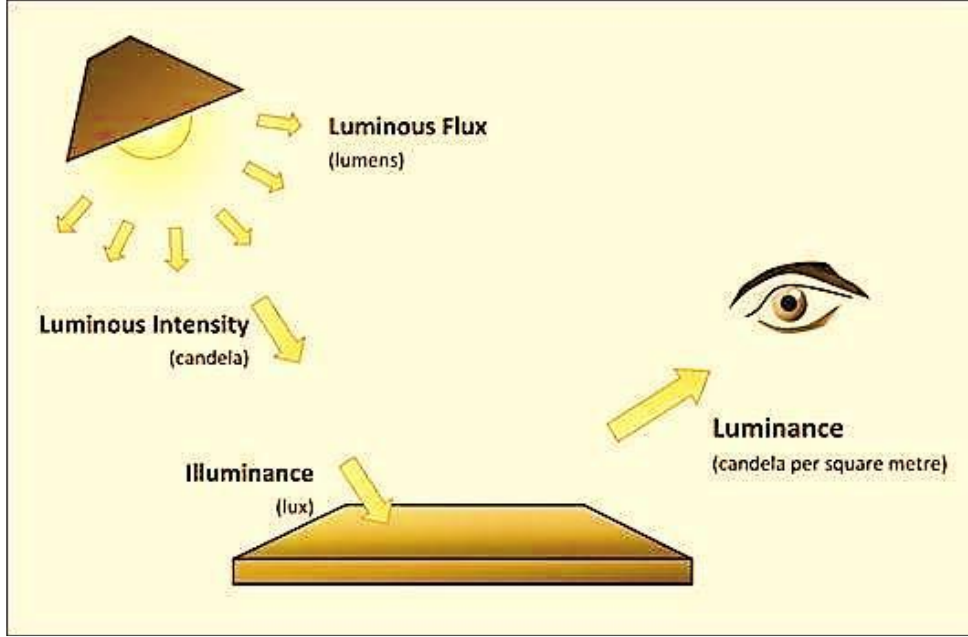
Esasen ışık kaynaklarını faydalı düzlemler üzerinde oluşturdukları aydınlık düzeyleri tek başlarına bir anlam ifade etmezler, çünkü insan gözü aydınlık düzeyini algılamaz. Göz, aydınlık düzeyinin mevcut olduğu noktadaki yüzey yansıtma katsayısı ile çarpımı olan parlıltı değerini algılayabilmektedir. Yansıtma katsayısı, parlıltı hesabı yapılan noktaya göre gözlemci ve aygıt konumlarına da bağlıdır.

$$L = p \cdot E / \Pi \quad (2.3)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada  $p$ ; yüzeyin yansıtma katsayısını göstermektedir.

Farklı yansıtma katsayılarına sahip yollarda, aynı aydınlık düzeyleri oluşturulmuşta olsa yollar farklı parlıltı değerine sahip olacaklardır. Yol üzerindeki asfalt kaplama türlerine göre farklı yansıtma özelliklerine sahip olduğu için farklı parlıltı değerlerinin oluşmasına neden olmaktadır. Göze etki eden tek fotometrik büyüklük parlıltı Şekil 2.6’da verilmiştir.

Bu nedenle yollar yansıtma özelliklerine göre R1, R2, R3, R4 sınıflarına ayrılmıştır. Türkiye’de asfalt yollar R3 sınıfına girmektedir.



Şekil 2.6. Göze etki eden tek fotometrik büyüklük parlantı (luminans)

#### 2.4.8. Kontrast

Kontrast, bir görüntüdeki en parlak bölüm ile en karanlık bölüm arasındaki fark olarak tanımlanır. C sembolü ile gösterilir. Gözler cisimleri aydınlık-karanlık farkları, şekilleri, hareketleri ve renkleriyle ayırt etme yeteneğine sahiptir. Bunlar içinde, gözün aydınlık-karanlık farkı ile ayırt etme yeteneği olan kontrast duyarlılığı başta gelmektedir. Eğer bir ekran  $100 \text{ cd/m}^2$ 'lik bir parlak beyaz ölçümüne ve  $1 \text{ cm}^2$ 'lik bir siyah ölçümüne sahipse kontrast  $100/1$  olarak ifade edilir. Siyah ile beyaz arasındaki kontrast aralığı genişledikçe iki uç arasındaki gri yada ara seviye renk tonları daha rahat ortaya çıkmaktadır. Renk tonları ne kadar fazla olursa görüntünün canlılığı gerçeğe daha yakın görünür. Kontrast duyarlılığı aydınlık-karanlık farkının yanı sıra, cisme göre gözlemci konumuna ve çevre parlantısına da bağlıdır [26]. Cisim parlantısı ile eşdeğer bir çevre parlantısı olursa kontrast (zıtlık) maksimum olur. Ayrıca aydınlık-karanlık farkı çok küçük ise bu kontrastı fark edebilmek için yüksek aydınlık düzeyine ihtiyaç vardır. Eğer engel zeminden daha koyu ise silüet şeklinde görünür. Buna negatif kontrast denilir. Eğer engel zeminde daha açık ise buna pozitif kontrast denilir. Yol aydınlatması genellikle negatif kontrast oluşturur. Tam ve düşük kontrast renk görünümüleri Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.7. Tam ve düşük kontrast renk görünümleri

#### 2.4.9. Kamaşma

Aşırı ve kontrolsüz bir şekilde dağılan ışığın neden olduğu görsel algıdır. Parıltının aşırı derecede yüksek olmasına veya ışık kaynağından yayılan ışınımın direk olarak göz tarafından rahatsız edici olarak algılanmasıdır. Kısaca parıltı değerinin gözü rahatsız edecek duruma gelmesidir. Eğer gözün görme bölgesindeki parıltı yüksek ölçüm değerlere sahipse göz kamaşır ve buna ‘‘Doğrudan Kamaşma’’ denilmektedir. Kamaştırıcı ışık kaynağı gözün görme bölgesi dışındaysa bu tür kamaşmaya da ‘‘Dolaylı Kamaşma’’ denilir. Aydınlatma tesislerinde en çok rastlanan ve en kaba rastlanan hatalardan biridir. Yol aydınlatma projelerinde Dialüx programı yardımı ile kamaşmada istenen ideal aralıklar sağlanabilir.

Yol aydınlatmalarında iki grup kamaşma bulunur;

- 1- Psikolojik Kamaşma: sürücünün görme yeteneğinde bir değişim olmazken sürücüyü sürekli nahoş duygulara maruz bırakarak yolculuk düzen ve sağlığını kötü yönde etkiler.
- 2- Fizyolojik Kamaşma: gözün fizyolojik yeteneğini olumsuz etkileyerek düşmesine neden olur [19]. LED ile yapılan yol aydınlatmasında bariz görülen kamaşma Şekil 2.8’de verilmiştir.



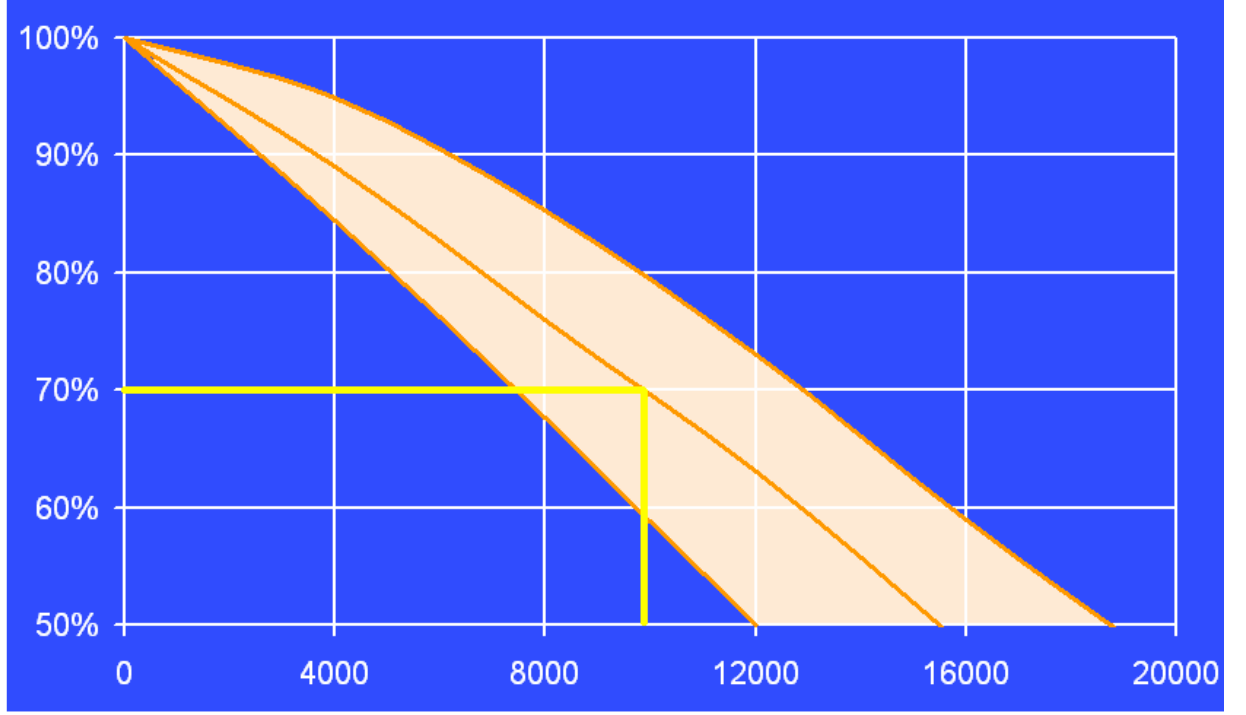
**Şekil 2.8.** LED ile yapılan yol aydınlatmasında bariz görülen kamaşma

#### **2.4.10. Etkinlik Faktörü**

Bir ışık kaynağının 1 W güçle oluşturduğu ışık akısına etkinlik faktörü denir [11]. Etkinlik faktörü, ışık verimi veya aydınlatma verimi olarak da adlandırılır. Simgesi  $\eta$  ile ifade edilir. Birimi Lümen/Watt (lm/w)'tır. Etkinlik faktörü bir ışık kaynağının yaydığı görünür ışığın ne derece iyi olduğunu gösteren fiziksel bir niceliktir. Işık akısının güce oranıdır. Aydınlatma tesisatlarında teknolojinin gelişmesiyle birlikte etkinlik faktörü yüksek ışık kaynakları tercih edilmektedir

#### **2.4.11. Ortalama Ömür**

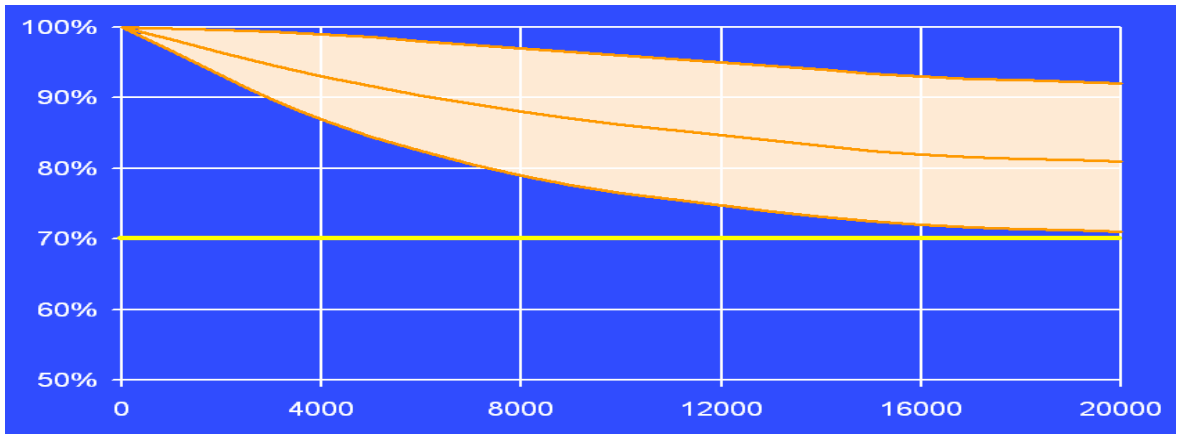
İstatiksel olarak yeterli değerdeki lambalardan oluşturulmuş bir aydınlatma çalışmasında, normal koşullar altında lambaların %50'sinin atıl hale gelmesi durumunda oluşan süredir [17]. Ayrıca ortalama ömür üretilen ışık kaynaklarının tüm parçalarının standartlara uyularak üretilmesi ve şebekedeki gerilim dengelemeleriyle artırılabilir. Kullanım kapasitesi- ortalama lamba ömrü grafiği Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.9. Kullanım kapasitesi-ortalama lamba ömrü grafiği [17]

#### 2.4.12. Ekonomik Ömür

İstatiksel olarak değerlendirilebilecek sayıdaki ışık kaynağından oluşan bir aydınlatma tesisinde, lambalar 100 saat kullanıldıktan sonra ölçülen ışık akı değerlerinin iyi olmaması ve lambaların atıl konuma ulaşması ve ışık akı değerlerinde %30 kayba uğraması için geçen toplam zamandır [17]. Ekonomik ömrünü tamamlayan aydınlatma tesisleri verimsiz çalışmaya başlarlar. Bu tesisler son teknolojik parametre test ve standartlara uyarak yenilenmeli veya daha verimli ışık kaynakları kullanılarak yeniden tesis edilmelidir. Işık akısı –ekonomik lamba ömrü grafiği Şekil 2.10’da verilmiştir.



Şekil 2.10. Işık akısı-ekonomik lamba ömrü grafiği [17]



## 2.5. Yol Aydınlatmasında Kullanılan Lambalar (Işık Kaynakları)

Yol aydınlatma tesisatlarında genellikle kızgın elektrotlu deşarj lambalar kullanılmaktadır. Yol aydınlatmalarında hâlihazırda uygulama projelerinde aktif bir şekilde uygulanan ışık kaynakları, yüksek basınçlı civa buharlı lambalar, metal hali de lambalar, alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar, yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar ve LED (ışık yayan diyot) lambalardır. Deşarj lambalarını kendi içerisinde alçak ve yüksek basınçlı ya da civa ve sodyum buharlı lambalar olmak üzere kendi içerisinde gruplandırabiliriz. Deşarj lambaların içerisindeki gazlar genellikle yalıtkandır. Fakat gazlara enerji verilip serbest elektron üretilmeye başlanırsa iletken hale geçerler. Gazın iletkenliği verilen enerjinin büyüklüğüne, gazın cinsine, gazın basıncına, gazın içerisinde bulunduğu kabın ve elektrotların geometrik şekline bağlıdır. Genellikle deşarj lambaların çalışma prensibi şöyledir; elektrik alanın etkisi altında serbest elektronlar anot elektrotuna doğru hareket ederler ve bu esnada gaz atomları çarpışırlar. Çarpışma esnasında enerji kaybı ısıya dönüşür. Elektronlar temel duruma geçerken ışımaya başlar. Deşarj ve LED lambalar doğrudan şebeke geriliminden beslenemezler. Deşarj lambalar balast ve ateşleyici gibi yardımcı elemanlara ihtiyaç duyarlar. LED lambalar ise güç kaynağı ve sürücü devresine ihtiyaç duymaktadır.

### 2.5.1. Yüksek Basınçlı Civa Buharlı Lambalar

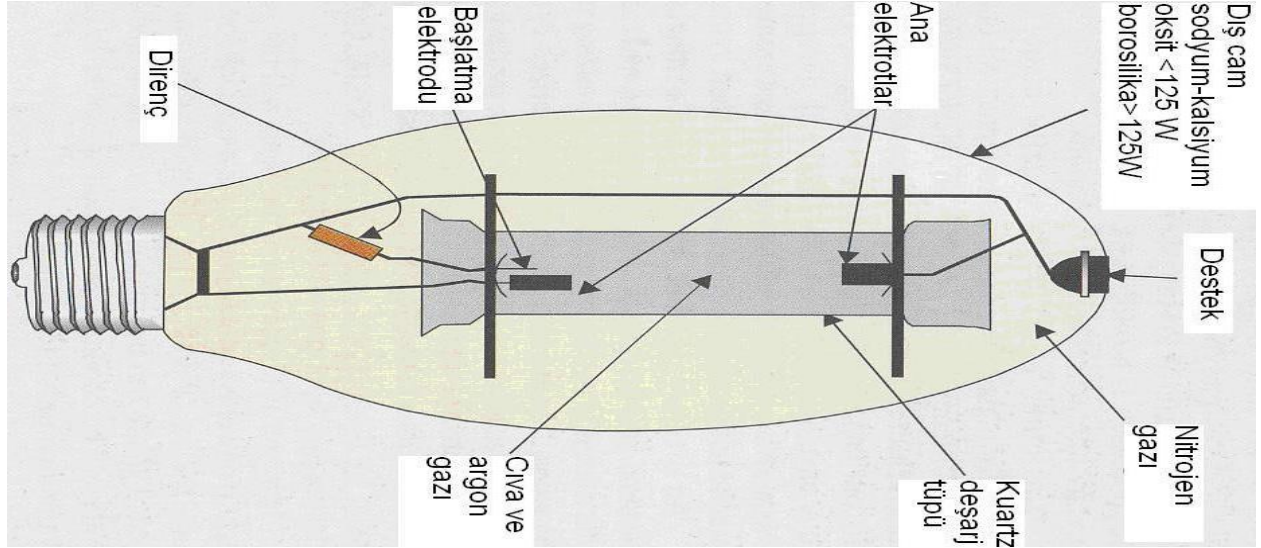
Ticaret maksadıyla ilk kullanılan basınç değeri yüksek olan lamba, yüksek basınçlı civa buharlı lambalardır. Yüksek basınçlı civa buharlı lambalarda (YBCBL) üretilen ışığın büyük bir kısmı civa buharının ışınımı ile oluşur. Yüksek basınçlı civa buharlı lambalarda civa buharı yükseldikçe uzun dalga boylu termik yoluyla ışık yaymaya başlar. YBCBL örneği ve lamba iç yapısı sırasıyla Şekil 2.11 ve Şekil 2.12’de belirtilmiştir.



Şekil 2.11. Yüksek basınçlı civa buharlı lamba



Bu lambalarda, civa buharında oluşan boşalma ile elektromanyetik ışımaya sağlanır. Lamba içerisinde 100000 Paskal gibi yüksek bir değere sahip olmasından dolayı, bu lambalara yüksek basınçlı civa buharlı lambalar denmektedir [11].



**Şekil 2.12.** Yüksek basınçlı civa buharlı lambanın iç yapısı (YBCB lambanın iç yapısı)

Boşalma esnasında lambanın iç basınç değeri 200-400 kPa (atmosfer basıncının 2-4 kat) olur [19]. Yeterli sıcaklıkta olmayan bir lambada civa buharının boşalması sağlanamadığından lamba içine argon gazının konulması gerekmektedir. Yardımcı elektrotlar ile argon gazının boşalımı sağlanır. Bu yüzden ateşleyici gibi yardımcı elemanlara ihtiyaç yoktur. Bu ön boşalma neticesinde ortaya çıkan enerji civayı buharlaştırarak ana boşalmanın oluşmasını sağlar. Asıl boşalma işlemi için metal oksit elektrotlar kullanılmaktadır. Meydana gelen radyasyon gözle görülebilir aralıktadır. Lamba çalışırken elektronların bulunduğu hazne mavi ve ultraviyole ışık yayar. Özellikle beyaz giysilerin bu ışık altında parlak görünmelerinin sebebi ultraviyole ışınlarıdır. Çoğu civa buharlı lambalarda fosfor maddesinin değeri değiştirilerek renksel geriverim özelliği artırılır. Renksel geriverim özelliği artırıldığında lambaların ömürlerinin kışalmasına sebep olmaktadır.

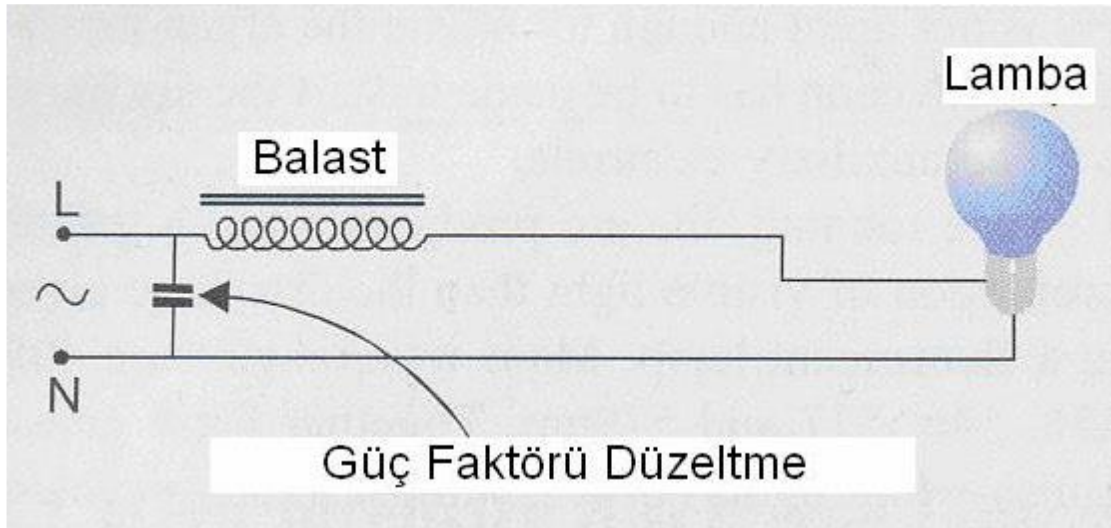
Boşalma için gerekli olan yüksek basınç ve yüksek sıcaklıktan boşalma işlemi şeffaf bir boşalma tüpünde olur. Şeffaf tüpün iç yüzeyi fosforlanmaktadır. Bu cam balonun içine nitrojen gazı konularak, içerideki boşalma elemanlarının oksitlenmesi önlenir ve böylece boşalma tüpü için olması gereken sabit sıcaklık değeri sağlanmış olur.

Yardımcı elektrotlarda, argon gazının iyonlaşması için geçen sürede, lamba üzerinde akım yüksek değere sahipken ancak gerilim normal çalışma geriliminden daha biraz düşüktür.

Lambanın iç sıcaklığı yükseldiğinde civa buharlaşır ve akım değeri düşer. Birkaç dakikada buhar basıncı sabit hale gelir. Eğer lamba tutuşmuş ve gerekli buhar basıncı oluşmuş ise kararlı çalışma gerilimi 110-140 volta düşer. Akım değeri ise lambanın gücüne bağlı olarak 1-8 A arasında bir değer olur.

Yüksek basınçlı civa buharlı lambaların kullanımı 2006 yılına kadar yaygındı. Yüksek basınçlı civa buharlı lambalar fabrikalarda, depolarda, büro tavan aydınlatmalarında, okul, tren garı, taş ocaklarında ve maden yataklarının aydınlatılmasında kullanılmaktadır.

Yüksek basınçlı civa buharlı lambaların ömürleri 15000-25000 saat arasında değişmektedir. Civa buharlı lambaların etkinlik faktörü değerleri 30-60 lm/w arasında değişir. Lamba güçleri ise 50 W ile 200 W arasındadır[19]. Çalışma esnasında tekrar devreye girebilmeleri için iç basınçlarının ve sıcaklığın düşmesi gerekir. Isınma ve soğuma süreleri benzerdir (1-5) dakikadır. Yardımcı eleman olarak balast kullanılır. Yüksek basınçlı civa buharlı lambanın elektrik devresi Şekil 2.13'te gösterilmiştir.



**Şekil 2.13.** Yüksek basınçlı civa buharlı lambanın elektrik devresi

Yüksek basınçlı civa buharlı lambanın elektrik devresi Şekil 2.13'te gösterilmiştir. Akım değeri çok fazla düşerse lambanın boşalması lambayı karasız hale getireceğinden bu lambaların çıkışları sınırlı bir düzende kademeli şoklarla kontrol edilir [19].

Lambaların etkinlik faktörü değerleri ve kullanım süreleri düşük olduğundan, TEDAŞ Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lambalar Teknik Şartnamesi ile Türkiye'de yol aydınlatmalarında yüksek basınçlı civa buharlı lambalar kullanılamaz [24].

Yüksek basınçlı civa buharlı lambaların avantaj ve dezavantajları belirtilmiştir.

#### Avantajları;

- Ömürleri 15000-25000 saattir.
- Her konumda yanabilir.
- Ateşleyiciye ihtiyaç duymaz.
- Isı değişimlerine ve gerilim yükselmelerine karşı dayanıklıdır.
- Verdiği ışığa karşın lamba boyutu büyük değildir.
- Kullanımı ucuzdur.
- Sarsıntıya ve darbelere darbelere karşı dayanıklıdır.

#### Dezavantajları;

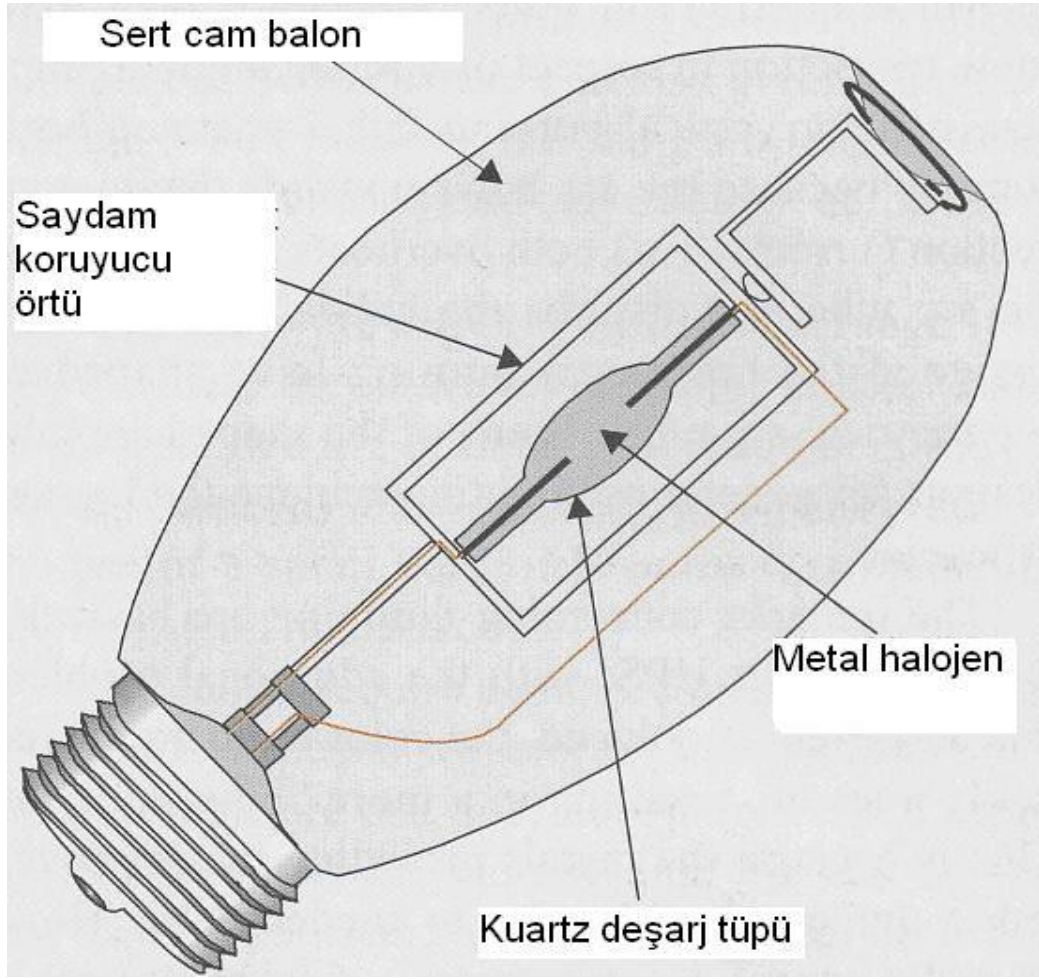
- Etkinlik faktörü düşüktür.
- Yardımcı elemanlara gereksinim duyulur. (Balast)
- Kuruluş masrafı fazladır.
- Kırmızıya dönük renkleri iyi göstermez.
- Yanma ve soğuma süresi uzundur. (4-5 dakika sonra tam ışığını verir)
- Renksel geriverimleri düşüktür.
- İş kaybı yüksektir.

#### 2.5.2. Metal Halojen Lambalar (Metal Halide Lambalar)

Metal halide lambaların içyapısı temelde civa buharlı lamba gibidir. Fakat deşarj tüpünde civa ve argona ilaveten indium, talyum ve sodyum gibi metal halojenler bulunur. Metal halide lambaların renksel geriverim değerleri yüksektir. Metal halojen lamba ve metal halojen lamba içyapısı; sırasıyla Şekil 2.14, Şekil 2.15'te gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Metal halide lamba



Şekil 2.15. Metal halide lambanın iç yapısı

Lamba çalışma derecesine vardığında metal halojenler gaz haline gelir. Karışımın buharı boşalması yüksek sıcaklık değerine geldiğinde halojen ve metaller ayrışır. Metal parçacıkları kendi tayfını yayarlar. Metal ve elektro negatifliği yüksek elementler difüzyon veya konveksiyonla boşalma tüpünün sıcaklığı az olan bölümlerine hareket ederek, döngüyü tekrar oluşturmak için birleşirler. Metal halide lambaların etkinlik değerleri 75-125 lm/W arasında değişir. Renksel geriverim değerleri civa buharlı lambalara nazaran daha yüksektir. Genel amaçlar için üretilenlerin renksel geriverim değeri 70'tir fakat yapılan karışım değerine göre %95'e çıkabilmektedir. Renk sıcaklıkları standart olanlarda 3600-4200 Kelvin arasındadır. Lambanın kullanım süresi 6000-20000 saat aralığındadır. Lamba güç değerleri 35 W ile 2000 W olarak değişir[4]. Metal hali de lambaları aktifleştirmek için dış eleman olarak ignitöre gereksinim duyulur. Metal halide lambanın devreye alınma süresi 1-4 dakikadır. Birçok metal halojen lamba yüksek sıcaklıkta iken ateşlenemediği için 2- 10 dakika arasında bekleme süresi vardır [4].

Metal halojen lambalar mağaza, vitrin, müze, dekoratif amaçlı iç mekân aydınlatması, tarihi eserlerin ve bina dış yüzeylerinin aydınlatılması, spor sahalarının aydınlatılması, liman ve inşaat alanlarının aydınlatılması, endüstriyel sergi alanlarının ve hipermarketlerin aydınlatılması, yüksekliği fazla olan ve üstü kısmen kapalı olan alanların aydınlatılmasında kullanılır. En yaygın kullanım yerlerin başında müzelerdeki vitrin aydınlatması gelir.

Metal halide lambaların renk değerleri iyi olmasına karşın etkinlik değeri ve kullanım süresi şeffaf tüplü yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalara nazaran düşüktür. Bundan renk kriterlerinin çok önemli olmadığı uygulamalar haricinde kullanılmaları maliyeti artırmaktadır. Buna yol aydınlatması örneği verilebilir. Aşağıda metal halojen lambaların avantaj ve dezavantajları belirtilmiştir.

Avantajları;

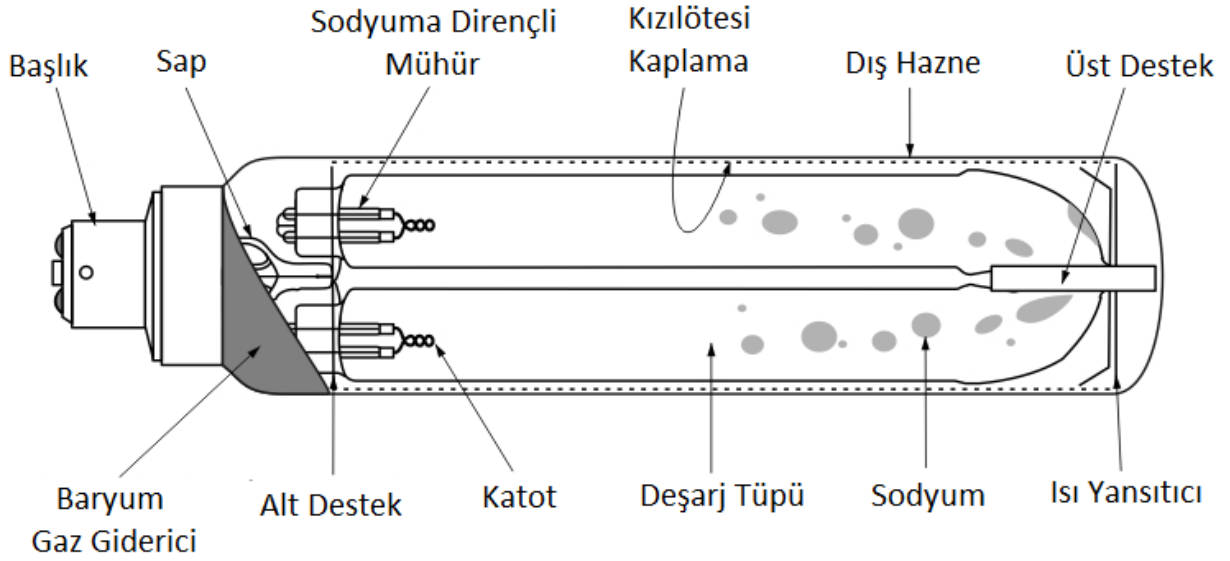
- Ömrü uzundur.
- Etkinlik faktörü büyüktür.
- Renk geriverimi yüksektir.

Dezavantajları;

- Gerilim dalgalanmalarına karşı hassastır.
- Dimmerlemeye uygun değildir.
- Kuruluş masrafı fazladır.
- Yardımcı elemanlara ihtiyaç duyulmaktadır. (balast, ateşleyici)

### **2 5.3. Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı Lambalar**

Bu lambalar 0,7-1 Pa değerleri arasında sodyum elementinin buharı deşarj edilerek ışık üretirler. Ticari olarak 1932 yılında kullanılmaya başlanmıştır [11]. Bu lambalar kızgın elektrotlu alçak basınçlı ve alçak gerilimli deşarj lambalardır. 589,00 ve 589,6 nm değerleri arasında sarı ışık ortaya çıkarırlar [19]. Lambanın yapısında bulunan sodyumun, ışık spektrumundan dolayı sar-turuncu ışık verirler. Lambayı verimli kılan da bu tek renkli (monokromatik) ışıktır. Alçak basınçlı sodyum buharlı lambaların sarı-turuncu renk vermesinden dolayı, renkleri ayırt etmek zordur ve renksel geriverimleri düşüktür. Alçak basınçlı sodyum buharlı lambanın içyapısı ve lamba örneği sırasıyla Şekil 2.16 ve Şekil 2.17’de gösterilmiştir.



**Şekil 2.16.** Alçak Basıncılı sodyum buharlı lambanın iç yapısı

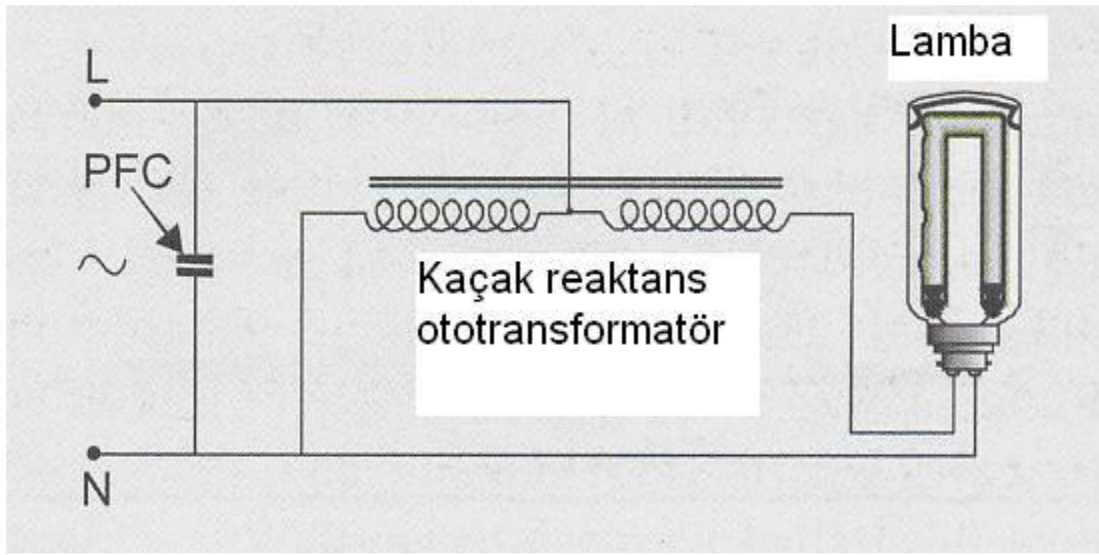


**Şekil 2.17.** Alçak basınçlı sodyum buharlı lamba

Tüp içinde oda sıcaklığında katı halde bulunan sodyum madeni bulunur. Tüpün sıcaklığı 250 ile 300 dereceye çıktığında sodyum madeni buharlaşır ve tüpün basıncı ideal seviyeye iner. Deşarj önce yardımcı bir gaz içinde neon veya argon gazı içinde meydana gelir. Bu bakımdan az miktarda asal gaz içerir. Kızgın elektrotlar baryum oksitle kaplanmış tungsten (wolfram)'dır. Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar alternatif akım şebekelerinde kullanıldığından her iki ucunda aynı tip elektrot bulunur 220 voltluk şebeke gerilimi bu lambayı ateşlemeye yetmez. Onun için tüp içine elektrotları birbirine yaklaştırmaya yarayan madeni bir ateşleme teli (ignitron) konmuştur. Bu sayede gerilim uygulandıktan sonra ana dolgu gazında (neon veya argon) küçük ışıklı deşarj yolları oluşur ve ön deşarj başlar. İyonizasyon yardımı ile ön deşarj ana deşarjı başlatır. Dolayısıyla tüp ısınır, 260 dereceden sonra katı halde bulunan sodyum



madeni buharlaşır ve ışıklı plazma dolgu gazından sodyum buharına dönüşür. Deşarj tüpü U şeklinde bükülmüş ve havası boşaltılmış iç yüzeyi indium oksitle kaplanmış bir dış tüpün içine yerleştirilmiştir. Indium oksit kızılötesi ışınları yansıtarak, vakum ise ısı kaybını azaltarak lambanın verimini yükseltmektedirler. Tüpün nominal gerilimi 20 volt olup tüp 220 volt işletme geriliminde çalışabilecek şekildedir. Fakat kararlı çalışma gerilimi 50-60 volt mertebesindedir. Kararlı şekilde çalışmada gerilim farkı balast tarafından karşılanır. İlk tutuşma geriliminin sağlanması için balast içine konmuş veya ayrı bir ateşleyici (ignitör) bulunur [19]. Lambanın elektrik devresi Şekil 2.18’de verilmiştir.



**Şekil 2.18.** Alçak Basıncılı sodyum buharlı lambanın elektrik devresi

Şekil 2.18’de görüldüğü üzere alçak basınçlı sodyum buharlı lambalarda ateşleme ihtiyacı için 400-500 V gerilime gereksinim vardır. Ateşleme gerilim değeri yüksek olduğundan transformatör, balast ve akım düzenleyici bobin kullanılmaktadır.

Alçak basınçlı sodyum buharlı lambaların etkinlik faktörü ve verimlerinin yüksek olmasına rağmen altın sarısı monokromatik ışık yaydıkları için renk ayırımının önemli olduğu yerlerde kullanılmazlar. Fakat dış aydınlatma tesislerinde, yol aydınlatmasında, rengin önemli olmadığı yüklem boşaltma işyerlerinde, demiryolun güzergâhlarında kullanılmaktadır. Ayrıca bu lambalar gözlemevi çevrelerinde, havaalanı kontrol kulelerinin çevrelerinde, askeri güvenlik bölgelerinde, ışık kirliliğine tahammül olmayan yerlerde özellikle kullanılmaktadır. Çünkü yaydıkları ışık tek renk olduğu için tek filtre kullanılarak elimine edilebilirler.

Alçak basınçlı sodyum buharlı lambaların avantaj ve dezavantajları belirtilmiştir.

Avantajları;

- Işık verimi en yüksek olan lambalardır. (100-192 lm/W)
- Geniş alanlarda kullanıma elverişli güçtedir.
- Yaklaşık 16000 saat ömürleri vardır.

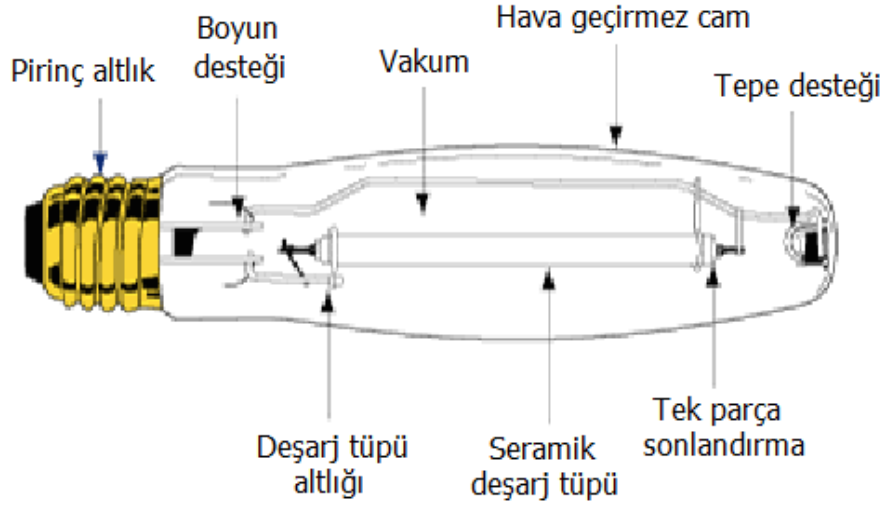
Dezavantajları;

- Renksel geriverimler en kötü olan lambalardır.
- Bu lambaların kullanıldığı yerde stroboskopik (göz yanılması) etki görülür.
- Lambanın içinde sodyum havayla temas ettiğinde tehlikeli olabilir.

#### **2.5.4. Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lambalar**

Ticari olarak 1946 yılından bu yana dış mekânların aydınlatılmasında kullanılan yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar (YBSBL) dünyada en çok kullanılan sokak lambalarıdır. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar 5-10 kPa değerinde çalışmaktadırlar. Yüksek basınçlarda sodyum aşırı aşındırıcı etkiye sahiptir. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalarda bu aşındırıcı etkiyi engellemek için seramik deşarj tüpleri kullanılmaktadır. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar sodyum, ateşlemeyi sağlamak için civa ve asal gaz içerirler. Deşarj arkından deşarj deşarj tüpü iç yüzeyine olacak ısı konduksiyonunu sınırlamak içinde xenon gazı kullanılmıştır. Bu lambada deşarj daha yüksek sıcaklarda (700 derece) meydana gelir. Deşarj tüpü bu sıcaklıktaki sodyum buharının kimyasal aktivitesine dayanabilmesi için sinterlenmiş alüminyum oksitten imal edilmiştir. Deşarj tüpü havası boşaltılmış tüp veya armut şeklindeki bir sert cam içine konulmuştur. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambanın içyapısı ve lamba örneği Şekil 2.19 ve Şekil 2.20'da gösterilmiştir.





Şekil 2.19. Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lambanın İç Yapısı

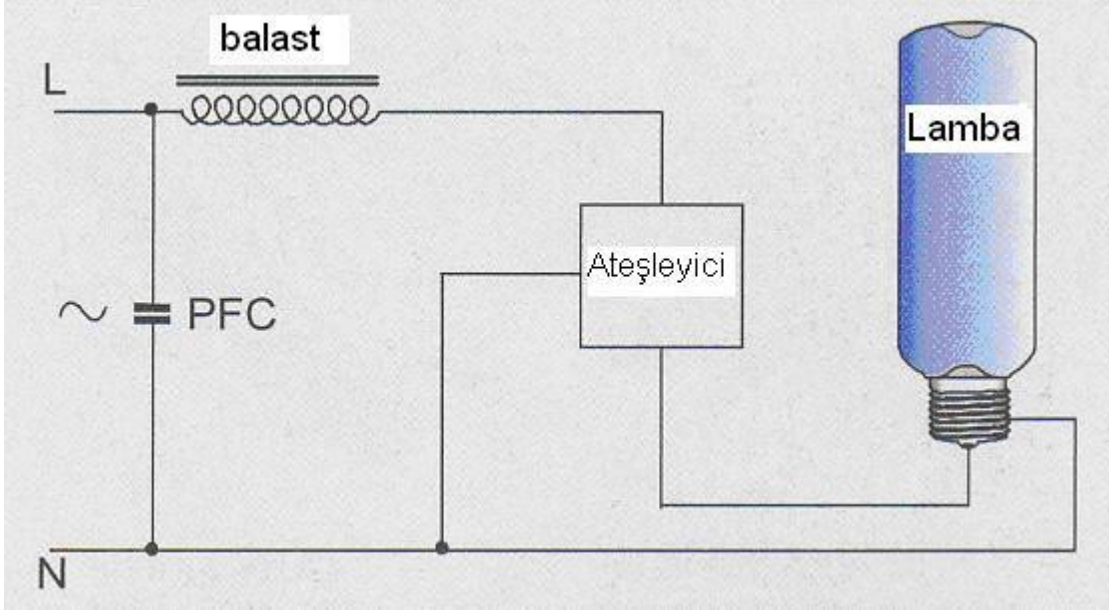


Şekil 2.20. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba

Lamba güç değerleri 35 W-1000 W arasındadır. Etkinlik faktör değeri balast kaybı dâhil olmak üzere 70-150 lm/W'tır ve lamba gücü artırıldığında etkinlik değeri yükselir. Sodyum basınç değeri yükseltildiğinde renksel geriverim artmasına karşın etkinlik değeri azalır. Xenon gazının basınç değeri yükseltilecek etkinlik değeri artırılabilir fakat bu durumda lambanın çalışma şartları zorlaşır. Lamba ömür değerleri 10000-24000 saat aralığındadır. Renksel geriverim değeri standart olanlar için 25, orta derecedekiler için 60, iyileştirilmiş renk çeşitleri için bu değer 85'e ulaşır. Daha iyi renksel geriverim elde etmek için lamba ortalama ömür değeri azalır [27].

Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların ateşleme işlemi çok karmaşıktır. Başlangıçta Xenon ve sodyum-civa tepkimesiyle bir karışım oluşmaktadır. 20 kPa basınçtaki xenon

boşalmayı aktiveştirir, civa buharı (ısındığında 60 kPa basınç değerine varır) basıncın değerini artırır. İstenilen değere ulaşma süresi ortalama olarak 10 dakikadır ve döngünün tekrar başlaması 1 dakika süreye ihtiyaç vardır. [27]. Ateşleme gerilimini elde etmek için transformatör yetersiz kalmaktadır. Bundan dolayı lambaların çalışması için ateşleyici denen yardımcı elemanlar kullanılır. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambanın elektrik devresi Şekil 2.21’de gösterilmiştir.



Şekil 2.21. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambanın elektrik devresi

Enerjiyi tasarruflu kullanmak için, mevcut şebekede civa buharlı armatürlerde hiçbir eleman değişikliğine ihtiyaç olmaksızın sadece lamba değiştirilerek kullanılabilen ateşleyicisiz yüksek basınçlı sodyum buharlı ile değiştirilebilir. 125 W, 250 W ve 400 W gücündeki yüksek basınçlı civa buharlı lambalar ile 110 W, 210 W ve 350 W gücündeki lambalar aynı sistemde kullanılabilir. Bu lambaların kullanılması ile %15 daha az enerji tüketilmiş ve %35 daha fazla ışık elde edilmiş olur.

Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi (TEDAŞ) YBSBL Teknik Şartnamesi ile tüm dış mekân aydınlatma tesislerinde parlak beyaz-sarı renkte ışık veren lambaların en verimlileri olan şeffaf cam tüplü olanların projelerde uygulanmasını istemektedir [28]. Bu tez çalışmasında uygulanacak olan projelerde şeffaf cam tüplü yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar kullanılacaktır. Aşağıda yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların avantaj ve dezavantajları belirtilmiştir.

#### Avantajları

- Verimleri yüksektir. Yenileme yoluna gidilirse civa buharlı lamba uygulamalarının yerini rahatlıkla alabilir.
- Lamba ömrü alçak basınçlı sodyum buharlı lambalardan daha uzundur.
- Boyut olarak floresan ve alçak basınçlı sodyum buharlı lambalardan daha küçüktür, çok bağlantı tipine uyum gösterir.

#### Dezavantajları

- Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar kadar olamasa da renksel geriverimleri yine kötüdür. (halojen lambalara göre)
- Sodyumun yanında civa da içerdiğinden, ömürlerinin sonuna gelindiğinde imha edilmeleri, alçak basınçlı sodyum buharlı lambalarınkinden daha zahmetlidir.
- 52-100 V'luk düşük bir gerilimden sorumlu olan ve dolayısıyla da bir miktar güç kaybına sebep olan balast ile kullanılırlar. Bu da tüm sistem düşünüldüğünde lambanın gerçek veriminin düşmesine neden olan bir durumdur.

#### **2.5.4.1. Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lambaların Çalıştırılması İçin Gereken Yardımcı Elemanlar**

Diğer boşalma sistemi ile çalışan lambalar gibi YBSBL'da direk olarak standart şebekeden enerji alamazlar. Bu nedenle lambanın devresi yeniden dizayn edilerek lambanın iyi bir şekilde enerji alması gerçekleştirilir.

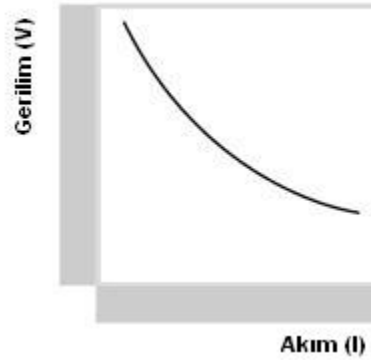
Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalarda, lamba akımı artığında direk olarak lambanın gerilimi ineceğinden akımın belli bir değerde kalması sağlanmalıdır. Mevcut sistem gerilimlerinin sıfır değer aldığı yerden geçişlerde etkilenilmemesi için standart çalışma geriliminden daha büyük ateşleme değerinin olması gerekir.

Aydınlatma şebekesinde bunları sağlamak için şok bobini, transformatör, direnç balastlar, kompanzasyon kondansatörleri, filtre bobinleri ve ateşleyici gibi elemanlar kullanılır.

#### **2.5.4.2. Balast**

Balastlar gaz deşarjlı çalışan lambalara uygun akımı ve gerilimi sağlar. Deşarjlı lambalar ilk çalıştıklarında yüksek değerdeki gerilime ihtiyaç duyarlar. Bu yüksek değerdeki gerilim lambada elektrik arkının oluşmasını sağlar. Gazları tetikleyerek lambanın çalışmasını sağladıktan sonra yüksek değerdeki gerilimi düşürerek dengede tutmaya çalışır. Eğer akım düzenleyici bir

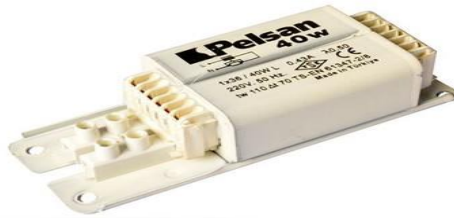
eleman olmazsa (lamba gerilimi=şebeke gerilimi), lamba amper değerinde az bir değişim, lamba geriliminin değişmesine sebep olur [19]. Ancak lamba şebeke geriliminden beslendiği için gerilim değişmeyecek, bundan dolayı akım daha da artacaktır. Benzer şekilde lambanın amper değerinde küçük bir değişim olduğunda voltaj yükselir, fakat şebeke voltajından daha fazla yükselemeyeceğinden bu kez akım daha da yükselir ve lamba iyi çalışmadığı için sönecektir. İşte bu sıkıntıların yaşanmaması için uygun balast ve elemanlar ile sağlıklı bir elektrik devresi oluşturulmalıdır. Deşarj lambalar için akım gerilim değişimi Şekil 2.22’de verilmiştir.



**Şekil 2.22.** Deşarj lambalar için gerilim akım grafiği

Balastlar manyetik ve elektronik balast olmak üzere ikiye ayrılır.

- 1) Manyetik Balast: İçerisinde bulunan bobinin manyetik indüksiyonu yardımıyla gerilim ve akım değerini düzenleyen balastlardır. Büyük ve ağır yapıda olan manyetik balastların içerisinde transformatörler bulunmaktadır. Manyetik balastlarda frekans değiştirme özelliği olmadığından ışıkta titreme olabilir. Manyetik balast Şekil 2.23’de verilmiştir.



**Şekil 2.23.** Manyetik balast

2) Elektronik Balast: Akım ve gerilim kontrolünün yanı sıra, frekans kontrolünün de yapıldığı, yarı iletken devre elemanları kullanılarak üretilen balastlardır. Manyetik balasta kıyasla daha az enerji tüketirler. Isınma problemi az görülür, açma ve kapama sayısı az olan aydınlatmalar için kullanılması idealdir. Elektronik balastların dezavantajı harmonik üretmeleridir. Çok sayıda elektronik balastın kullanıldığı aydınlatma sistemlerinde harmonik filtresi kullanılması gerekmektedir. Elektronik balast Şekil 2.24'te verilmiştir. Elektronik balast Şekil 2.24'de verilmiştir.



Şekil 2.24. Elektronik balast

### 2.5.4.3. Ateşleyici (İgnitör)

Deşarj lambaların elektrotlarında herhangi bir ön ısıtmaya gerek duyulmadan, deşarj lambalarında ateşlemeye yönelik gerilimsel atlama sağlayan aygıtlardır. Metal halojen ve sodyum buharlı lambalar ateşleyici olmadan çalışmazlar. Ateşleyicinin görevi lambanın çalışması için gerekli olan gerilim değerini sağlamaktır. Ateşleyici, lambanın ateşlemesinin sağlanmasından hemen sonra devre dışı kalmalıdır. Bunun sağlanması için lamba uçlarındaki gerilim kontrolü, lamba akımı veya zaman fonksiyonu gibi özelliklerden yararlanır. Lamba için seçilecek ateşleyici lamba gücüne göre belirlenir. Ateşleyici Şekil 2.25'te verilmiştir.



Şekil 2.25. 70-400 W Ateşleyici( ignitör)

#### 2.5.4.4. Kompanzasyon Kondansatörü ve Bobini

Aydınlatma tesisatlarında kullanılan modern lambaların yardımcı malzemeleri yüzünden, şebekeden çekilen endüktif nitelikteki reaktif gücün mevcut şebeke için sakıncaları vardır. Üretim, iletim ve dağıtım sistemlerindeki öğelerin gereksiz şekilde yüklenmesi ve bu suretle besleme kapasitelerinin azalmasına sebep olmaktadır. Diğer bir sakıncası da gereksiz yere çekilen akımın enerji kayıplarına neden olmasıdır. Yol aydınlatmasında kullanılan sodyum buharlı ve civa buharlı lambalar çalışma sürelerinde reaktif güç çektikleri için kompanze edilmeleri gerekir. Bu lamba sistemlerinde genelde 0,5 değerinde olan güç faktörünü ayarlamak için kompanzasyon kondansatörü paralel olarak, 220 V, 50 Hz beslemede faz nötr arasına veya 380/400 V beslemede iki faz arasına bağlanır. Ayrıca her bir lambanın gücüne ve çektiği reaktif güç değerine göre uygun kondansatör seçilip bağlanmalıdır.

### 2.5.5. LED lambalar

LED'in açılımı İngilizce'de "Light Emitting Diode" kelime grubunun baş harflerinden gelmektedir ve Türkçe'ye çevirirsek "ışık yayan diyot" demektir [15]. Uyarılan fotonlar, uyarılma konumundan normal konuma geçtiğinde enerji ortaya çıkar ve bu olay bir yarı iletkende gerçekleştiğinde, uyarılan fotonlar bir miktar enerji ortaya çıkarırlar. Bu durumda normal silikonda açığa çıkan bu enerji görülmez. Örneğin Galyum, Arsenik, Fosfat gibi farklı bileşiklerde üretilen ışık görüle bilinmektedir. Aşağıda Şekil 2.26 ve Şekil 2.27'de LED lambalar ve 150 W LED sokak lambası gösterilmiştir.



Şekil 2.26. LED lambalar



Şekil 2.27. 150 Watt LED sokak lambası

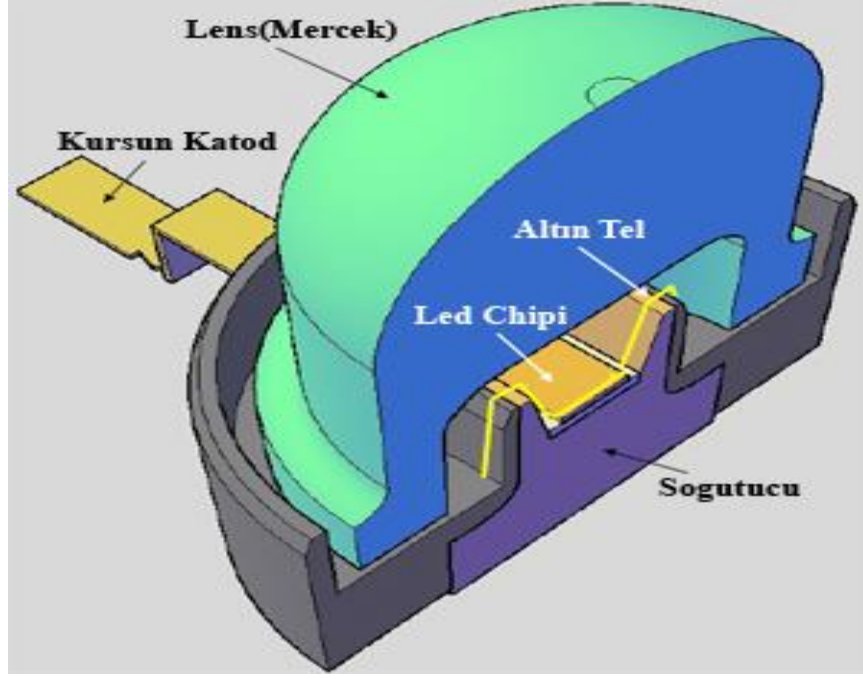
İlk üretildiklerinde genel aydınlatmalar için kullanımı pek uygun olmayan LED'lerin son yıllarda teknolojinin ilerlemesinden yerleşim alanında, cadde, sokak, kaldırımlar, bisiklet yolları, park ve bahçe gibi araba hızlarının zorunlu olarak sınırlandırıldığı alanlarda kullanımı uygun duruma gelmiştir. LED'ler genelde bir renkli ışık üretirler ve beyaz ışık veya diğer ara renkleri meydana getirmek için 3 temel yol izlenir.

- 1) Görünür alanın (370-780 nm), kısa dalga boyu bölümünde ışık yayan bir diyodu fosfor ile kaplayarak daha uzun dalga boylarında ışık elde etmek.
- 2) Ultraviyole alanda ışık yayan bir diyodun radyasyonlarını fosfor ile kaplayarak gözün görebileceği alanda ışık vermesini sağlamak.
- 3) Beyaz ışığı oluşturmak için Mavi, Yeşil ve Kırmızı diyotlar bir arada kullanılır.

Bu 3 yöntemin de geliştirilmeye ihtiyacı bulunmaktadır. Çünkü bu yöntemlerin olumlu ve olumsuz yanları bulunmaktadır. Beyaz ışık elde etmek için kullanılan fosfor yöntemi, RGB (Red, Green, Blue) yönteminden daha verimlidir. Renksel geriverim değeri de daha yüksektir. LED paketinden dışarı çıkan beyaz ışığın renk sıcaklığı, mavi LED'in baskın dalga boyuna ve fosfor kaplamasının yoğunluğuna göre değişiklik gösterir. Beyaz ışık için hassas dengenin sağlanması gerekir.

Hızlı gelişen LED teknolojisiyle birlikte, süper Flux LED ve Power LED gibi adlarla satılan, yüksek ışık akısı üretebilen LED'ler ile homojen bir aydınlatma mümkün hale gelmektedir. Birçok LED'in belirli bir geometrik dizayn çerçevesinde yerleştirilmesi ile elde edilen yüksek ışık akısı sayesinde, LED lambalar iç ve dış aydınlatmada giderek artan bir kullanım alanı bulmuştur [15]. Dış aydınlatmada kullanılan LED sokak lambalarının temel bileşeni olan LED paketleri Şekil 2.28' de gösterilmiştir





Şekil 2.28. Tipik bir LED modülü

### 2.5.5.1. LED Çipi

LED çipi, bir gerilim uygulandığında ışık yayan yarı iletken malzemelerden oluşmaktadır. LED'lerin fonksiyonel bir ışık kaynağı olabilmesi için, yarı iletken çipi, soğutucu, optik lens, reflektör ve metal ayaklardan oluşan LED paketi olarak üretilirler. Çalışma akımı 350 miliamper ile 1 amper arasındadır. Bu aralıkta iken ışık akısı 20 lümen ile 160 lümen arasında değişmektedir.

Farklı güçteki LED çipleri Şekil 2.29'da gösterilmiştir. Şekilden de anlaşıldığı üzere güç arttıkça LED çipinin boyutları da artmaktadır.

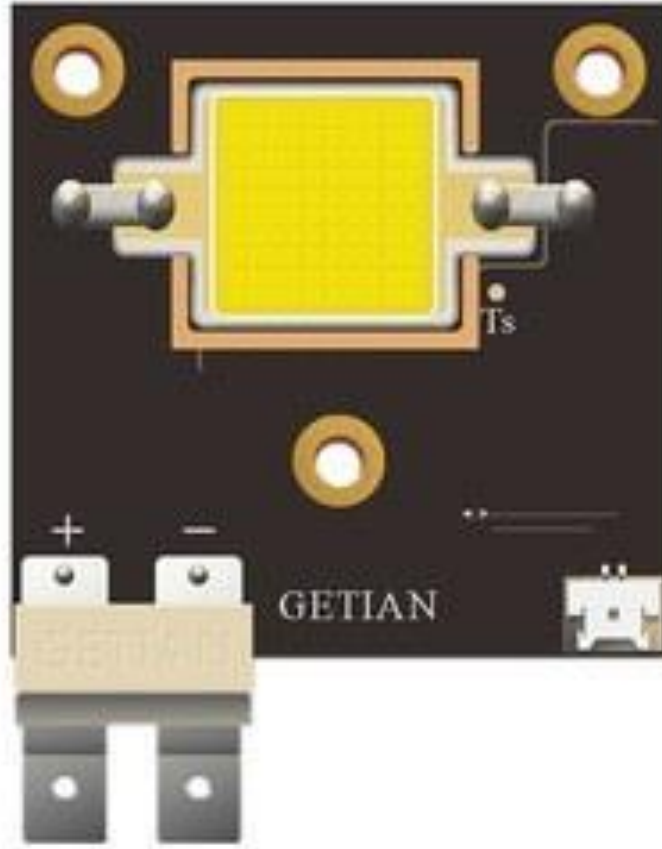


Şekil 2.29. LED çipleri

#### 2.5.5.2. LED Modülü

Çoklu LED paketleri yapılarak üretilen LED'ler, aydınlatma sistemlerinde de kullanılmaktadır. Bir devre kartına birden fazla LED paketlerinin entegre edildiği sisteme LED modülü denir [15].

LED modülü, bazı durumlarda, bir sürücü devresi veya bir akım düzenleyici devre olarak kullanılan ekstra elektronik devreler de içerebilmektedir. Ayrıca LED modüllere ışık enerjisini istenilen yere yönlendirebilmek, daha iyi odaklanmak ve yoğunlaşa bilmek için ikincil optik bileşen eklenebilir. 300 W beyaz Cobal LED modülü Şekil 2.30'da gösterilmektedir.



**Şekil 2.30.** 300 W beyaz cobal LED modülü

### 2.5.5.3. Soğutucu

Soğutucu, yarı iletken malzemede oluşan (LED)'te oluşan fazla ısı birikimini önlemek, sıcaklığın artmasına mani olmak ve biriken ısıyı çevreye yaymak için kullanılır. Soğutucunun boyutu, soğutucunun yapılmış olduğu malzeme ve düşürülmesi gereken ısının büyüklüğüne göre değişebilir. Soğutucu ısıyı 3 farklı yolla uzaklaştırır.

- 1) Kondüksiyon; bir katıdan diğerine ısı transferi yöntemiyle. (Temas ile)
- 2) Konveksiyon; bir katıdan akışkan bir sıvıya ısı transferiyle. (Hava ile)

3) Radyasyon (Işınım); farklı yüzey sıcaklıklarına sahip iki maddenin, elektromanyetik dalgalar yoluyla ışıınım.

LED lambalarda ısının soğutulması %90 kondüksiyon yöntemi ile olmaktadır. LED lambaların çözmesi gereken temel problemlerden biri de soğutucudur. Buna farklı teknolojik tasarımlarla çözüm bulunmaya çalışılmaktadır [15].

#### **2.5.5.4. Optik Lens (Mercek)**

LED lambaların en önemli avantajlarından biri de ışığı yönlendirebilmesi, yani lamba tarafından üretilen ışığın büyük kısmını istenilen alana düşürebilmesidir. Bunun için özel olarak üretilen mercekler kullanılarak, ışığın kaynağından toplanıp, belirli bir açıyla yönlendirilmesi mümkündür [15]. Özellikle ışık kaynağıyla aydınlanma alanı arasındaki mesafenin uzun olduğu, geniş alan aydınlatma uygulamalarında ve sadece belirli bölgelerin aydınlatılmasının amaçlandığı uygulamalarda, mercek kullanılması gereklidir. Yol aydınlatması LED'ler ile yapılacak ise mercek kullanımı zaruridir [15].

Bir LED sokak lambasının optik bileşeni, ışığın yönlendirilmesi için kullanılmaktadır. Sokak lambalarındaki LED'lerde optik bileşen olarak mercek veya reflektörler kullanılmaktadır. Bazı durumlarda ışık kaynağı bir fosfor tabakası altına dizilmiş LED çiplerinden oluşmuş ise, büyük ebatlarda mercek kullanmak gerekir. Büyük mercek kullanmak ise maliyeti yükselteceğinden, bu gibi durumlarda reflektör veya reflektör sistemi kullanmak gerekir.

#### **2.5.5.5. Kontrol Devresi, Güç Kaynağı ve Sürücü Devresi**

Yüksek güçlü LED'lerde, yüksek gerilim ve düzensiz akım değerleri lambanın düzgün çalışmasını engellemektedir. Kontrol devresi akım ve gerilim seviyelerini kontrol eden birimdir. Ayrıca bu olumsuz durumun önüne geçmek amacıyla nominal akım ve gerilim değerlerinde çalışmasını sağlayan güç kaynakları sürücü devreleri kullanılmaktadır. Aydınlatma için kullanılan LED'lerin her biri 2-4 V, DC gerilim ve birkaç yüz mA akım gerektirir, ancak devreye seri bağlandıklarından yüksek gerilim ihtiyacı doğar. Buna ek olarak çalışma esnasında ışık kaynağı şebekedeki gerilim dalgalanmalarından korunmalıdır. Gerilimdeki değişimler akımda orantısız bir değişime yol açabilir, bu durum da LED'in ışık çıkışını değiştirir. LED'lerin ışık çıkışı akım ile orantılıdır ve belirli bir akım aralığı için tanımlanmıştır. LED'ler kataloglarında belirtilen standart değerlerinin dışında kullanılırsa ömürleri ve etkinlik faktörleri değişir. Bu nedenle sürücü devreleri çok hassas ve korunaklı bir şekilde kurulmalıdır. LED sürücüleri deşarj

lambalarda balast görevini görmektedir. LED'ler AC gerilimi DC gerilime çevirecek ve çalışma boyunca LED üzerinden akacak akımı regüle edecek cihaza (güç kaynağına) gerek duyar. LED lambalar kit halinde düşünülürse her bir parçası özenle ve dikkatlice seçilmelidir. Aksi takdirde lambanın ışık ile ilgili parametreleri olumsuz etkilenir. Bir LED sürücü devresi Şekil 2.31'de verilmiştir.



Şekil 2.31. LED sürücü devresi

LED lambaların avantaj ve dezavantajları aşağıda belirtilmiştir.

Avantajları;

- Küçük boyutludurlar. (Soğutucu büyük olabilir)
- Fiziksel olarak sağlam ve darbelere karşı dayanıklıdırlar.
- Uzun ömürlüdürler. (50000-100000 saat arasındadır)
- Kesme bağlama elemanlarının LED'lerin ömürleri üzerinde etkisi çok azdır.
- Ortamın sıcaklığı düştüğünde daha iyi çalışırlar.
- Etkinlik faktör değerleri büyüktür.
- LED'ler çok seri bir şekilde geliştirildiklerinden etkinlik faktörü değerleri de yükselmektedir.
- Farklı renk oluşturma imkânı vardır.
- Işınım olduğunda optiksel olarak ısınma oluşmaz.
- Çevre dostudur. Civa gibi zararlı gazlar içermez.

Dezavantajları;

- Yüksek fiyatlılıdırlar ve kurulum maliyetleri fazladır.

- Düşük ışık akısına sahiptirler (10 W LED için 1250 lümen dir). Bu nedenle birkaç LED paket dizinine ihtiyaç vardır.
- Renksel geriverimleri küçük değer olabilir.
- Lamba boyutu küçülürse yüksek ışık akısından dolayı kamaşma olabilir.
- Isı yönünden iyi tasarlanmalıdır. Lamba çalışırken oluşan ısının sistemden uzaklaştırılması problemleri vardır.
- Standardizasyon eksiklikleri vardır.
- Piyasada üretilen LED'lerin katalog değerleri ile gerçekte ölçülen değerler arasında değer farkları vardır. Bu değer farklarının akrediteli laboratuvar da teyit edilmesine ihtiyaç bulunmaktadır.

## **2.5.6. Lambaların Karşılaştırılmalı Analizi**

Ülkemizde yol aydınlatmasında kullanılan yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar, metal halide lambaların yeni nesil teknoloji ürünü olan LED lambalar ile karşılaştırılması ve akrediteli laboratuvarlarda sonuçlarının analiz edilmesine ihtiyaç vardır. Bu bölümde LED ile metal halojen ve LED ile yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların karşılaştırılması yapılacaktır. Karşılaştırma ışık kaynağına göre ve optik ile ışık rengi bakımından karşılaştırılması yapılacaktır.

### **2.5.6.1. LED ve Metal Halojen ( Metal Halide) Lambaların Karşılaştırılması**

Metal halojen lambalar, yüksek basınçlı lambaların geliştirilmesini takiben 1960 yılında kullanılmaya başlanmıştır [26]. Metal halojen lambaların Watt başına 60-110 lümen arasında verimliliğe sahiptirler. Günümüzde sokak lambaları için kullanılan ışık kaynaklarından biri haline gelmiştir. Aşağıda LED ve metal halojen lambaların ışık kaynağı ve lambaların fotometrik değerleri açısından karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca civa buharlı lambanın değerleri de kıyas tablolarına eklenmiştir.

#### **2.5.6.1.1. Işık Kaynağı Olarak Karşılaştırılması**

Mevcut katalog değerleri kullanılarak, metal halojen, civa buharlı ve LED ışık kaynaklarının karşılaştırılması Şekil 2.32'de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi üç kaynağın ışık etkinlik faktörleri karşılaştırıldığında birim güç başına lümen çıkışı en az civa

buharlı lambalarda en fazla ise LED lambalarda olduğu görülmektedir. Ayrıca bir tek civa buharlı lamba veya metal halojen lambanın sahip olduğu geniş güç aralığı sayesinde bir sokak lambası için gerekli olan tüm ışık akısının sağlayabileceği görülmektedir. Diğer yandan sokak lambası için gerekli ışık akısı için, tek bir LED'in gücü yetmediğinden, 20-50 LED'den oluşan LED modülü ile sağlanması gerekir [15]. LED , Metal Halojen ve Civa Buharlı Lambaların karşılaştırılması çizelge 2.1'de verilmiştir.

**Çizelge 2.1.** LED, metal halojen ve civa buharlı lambaların karşılaştırılması

	Civa Buharlı	Metal Halojen	LED
Etkinlik Faktörü (lm/W)	50	110	>150
Güç (Watt)	20-1000	35-2000	2-150
Ömrü (saat)	10000	22000	50000
Renk	Beyaz	Soğuk Beyaz	Beyaz
Dimmerleme (Karartma)	Kötü	Kötü	Çok iyi

Yukarıdaki bilgilere göre, LED lambaların etkinlik faktörleri diğer iki lambadan yüksektir. Lamba ömrü ve dimmerleme açısından da üstündür. Ayrıca LED lambalar açma kapama ve tekrardan çalışma süresi olarak civa buharlı ve metal halojen lambalardan daha iyidir. Metal halojen lambaların enerji dönüşüm karşılaştırılması çizelge 2.2'de verilmiştir.

**Çizelge 2.2.** LED ve metal halojen lambaların enerji dönüşüm karşılaştırılması

	Metal Halojen Lambalar	LED
Görünür Işık	27	155-25%
Kızıl Ötesi (Infrared)	17	~0%
Mor Ötesi (Ultraviolet)	19	0%
Isı	37	75-85%

Çizelge 2.2'de görüldüğü gibi LED'ler kızılötesi ve mor ötesi ışık yaymazlar. Metal halojen lambalar elektriğin yüzde 37'sini ısıya dönüştürürken LED lambalar yüzde 75-85'ini ısıya dönüştürmektedir. LED lambalar için üretilen ısının sistemden uzaklaştırılması bir problemdir. Soğutucuların iyi seçilmesi gerekmektedir.

Kısacası LED'ler sokak lambaları için gerekli ışık akısı sağlamaları için modüler sistem olarak üretilmeleri gerektiğinden kurulum maliyetleri, metal halojen lambalara göre önemli

ölçüde yüksektir. Diğer yandan LED lambaların ömürleri, dimmerleme (karatma) ve daha fazla renk seçenekleri ile daha avantajlı bir lambadır.

#### **2.5.6.1.2. Optik ve Işık Rengi Bakımından Karşılaştırma**

Yol aydınlatmasında kullanılan lambaların optik dizaynları ve oluşturdukları ışık renkleri deşarj lambalarda deşarj tüpünün içine konan gaza ve metallere bağlıdır. Belirli bir ışık kaynağından en yüksek verimi elde etmek için iki hususun yerine getirilmesi gerekir.

- 1) Işığın mümkün olan büyük kısmının aydınlatılacak hedef alana yönlendirilmelidir.
- 2) Hedef alanı içinde homojen bir aydınlatma sağlanmalıdır.

Metal halojen lambalar ve civa buharlı lambalar her yöne ışık yayarlarken, LED'ler sadece tek yarım küreye ışık yayarlar. Işık ve renk metal halojen ve civa buharlı lambada homojen dağıtılamazken LED'ler homojen bir şekilde dağıtmaktadırlar. Metal halojen lambalar ışığı yansıtmak için reflektör kullanırlar. LED lambalar ise hem reflektör hem de mercek kullanılmaktadırlar. Mercekler vasıtasıyla istenilen alana ışık düşürebilir ve istenen homojen aydınlatma sağlanır. Ancak LED'ler verimli bir yol aydınlatması için bir dizi halinde ve düzgün bir şekilde gruplandırılması gerekmektedir. Genel amaçla kullanılan metal lambaların renksel geriverim değeri 70'tir fakat kullanılan halide değerine göre 95'e kadar çıkabilir. LED lambaların renksel geriverim değeri 85'tir [15]. Metal halojen ile LED lambalar arasında renksel geriverim değerleri neredeyse eşittir.

#### **2.5.6.2. LED ve Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lambaların Karşılaştırılması**

Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar 1968 yılından beri yol, cadde, sokak ve benzeri dış mekânların aydınlatılmasında kullanılmaktadır [26]. Bu lambalarda elektrot, sodyum, civa ve az miktarda xenon içeren seramik materyallerden yapılmış ince ve uzun ark boruları vardır. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar boruların içindeki materyallerin buharlaşmasıyla ışık üretirler. Şu anda ülkemizde sokak aydınlatmaları için en çok kullanılan aydınlatma kaynağıdır. Renk skalaları düşüktür. Işık etkinlik faktörleri Watt başına 12 lümen'dir. LED'lerin aydınlatma verimliliğindeki kayda değer gelişmeleri, sokak aydınlatmaları için alternatif bir kaynak olarak görülmektedir. LED teknolojisindeki gelişmeler sayesinde, LED'lerin verimliliği Watt başına 160 lümen'e kadar çıkmış ve laboratuvar ortamında 240 lümen seviyelerine kadar geliştirilmiştir [15]. LED'lerin yüksek kurulum maliyetlerinden dolayı sokak lambaları için kullanılmasında bir



çekimsellik vardır. TEDAŞ'ın uyguladığı yeni aydınlatma projelerinde hala yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar kullanılmaktadır. Bazı illerin kendi bünyelerinde yaptıkları cadde ve bulvar aydınlatmalarında LED lamba kullanmaktadırlar.

#### 2.5.6.2.1. Işık Kaynağı Olarak Karşılaştırılması

Işık kaynağının aydınlatma verimliliği (lm/w), bir aydınlatma sisteminin performansını belirleyen önemli faktördür, ancak armatür etkinliğini kullanarak aydınlatma sisteminin performansını değerlendirmek daha doğrudur. Çünkü ışık kaynağından çıkan ışık, aydınlatma yüzeyine ancak armatürün içindeki reflektörün düzgün dizaynı ve kalitesiyle belirlenebilir. Çizelge 2.3'te yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba ile LED lambanın fotometrik değerleri karşılaştırılmıştır.

**Çizelge 2.3.** LED ve yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların karşılaştırması [26]

	Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba	LED (Piyasa)	LED (Laboratuvar)
Işık Etkinliği (Lümen/Watt)	110	150	240
Isı Verimliliği (%)	100	9	9
Elektrik Verimliliği (%)	85	9	9
Armatür Verimliliği (%)	75	9	9
Armatür Etkinliği (Lümen/Watt)	70.1	72.9	109.4

Bu verilere göre LED lambaların tipik ışık etkinliği piyasadaki yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalardan yüksektir. Laboratuvar ortamında üretilen 240 lümen ışık verimliliğine sahip LED'lerin sokak lambalarında hızla kullanılacağına benzemektedir. Ayrıca yıllardır kullanılan yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların verimliliklerini artırmak oldukça zordur. Sokak aydınlatmalarında daha küçük boyutlara sahip LED'ler çok noktalı ışık kaynağı olması ve yönlü ışık yaymalarından dolayı yol boyunca daha düzgün aydınlık sağlamaktadır [15]. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar her yöne ışık yaymaktadır. Yarım kürenin üst tarafına doğru giden ışınlar reflektörden yansiyarak tekrardan aydınlatılacak alana gönderilir. Ancak bu dizayn da LED lambanın seviyesine yetiştirmez. LED lambaların tükettiği enerjinin büyük kısmını ısıya dönüştürmesi ve bu ısının sistemden uzaklaştırılması problemini doğurmaktadır. Bunun için

ideal soğutucuların seçilmesi gerekmektedir. Ayrıca LED lambalar çevre dostudurlar çünkü sağlığa zararlı herhangi bir gaz içermezler.

#### 2.5.6.2.2. Optik ve Işık Rengi Bakımından Karşılaştırma

LED ışık kaynakları, yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalara göre daha yüksek ilişkili renk sıcaklığı ve renk indeksi vardır. Normal yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların renksel geriverim değeri (CRI) 20 civarında iken LED lambaların değeri 60-90 arasındadır. Ancak yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların renksel geri verimleri 80'e kadar çıkarılabilmektedir, ama bu sefer de lambanın ömrü etkinliği düşmektedir. LED lambaların beyaz ışık üretme problemi de vardır. Hali hazırda kullanılan beyaz ışık üretme yolları geliştirilmeye ihtiyaç duymaktadır.

#### 2.5.7. TEDAŞ'ın Işık Kaynakları İle İlgili Uygulamaları

TEDAŞ Malzeme Yönetimi ve Satın Alma Dairesi Başkanlığı Yüksen Basınçlı Sodyum Buharlı Lambalar Teknik Şartnamesi'ne uygun olarak lamba alımlarını yapmakta ve belirlenen standartlara ve tip test kriterlerinin sağlayan lamblar yol aydınlatmasında kullanılmaktadır. Bu şartname lambaların çalışma koşullarına, özelliklerine, yapılması gereken deneylere, garanti sürelerine, kullanılan malzemenin dönüşümünden ambalajlamasına kadar uyulması gereken standartlar belirtilmektedir. Bu şartnamede yol aydınlatılmasında kullanılacak olan tüm malzemeler Avrupa Standartları ile uyumlu hale getirilmiş Türk Standartları ile denetlenmektedir. TEDAŞ Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba Standartları çizelge 2.4'te verilmiştir.

**Çizelge 2.4.** TEDAŞ yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba standartları [31]

STANDART NO	STANDART ADI
TS 8511 EN 60662	Lambalar-Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı
TS 895 EN 60188	Lambalar-Yüksek Basınçlı Cıva Buharlı -Performans Kuralları
TS EN 62035	Lambalar- Boşalmalı(Fluoresan Lambalar Dışında)-Güvenlik Kuralları
TS 289 EN 60238	Lamba Duyları- Edison Vidalı
TS EN 6923	Lambalarla İlgili Yardımcı Donanımlar-Balastlar-Boşalmalı Lambalar için(Tüp Biçimli Fluoresan Lambalar Dışında)-Performans Özellikleri
TS EN 60061-1	Lamba Başlıkları ve Duylar -Değiştirilebilirliğin ve Güvenliğin Kontrolü İçin Mastralar ile Birlikte-Bölüm:1 Lamba Başlıkları

Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar TS8511-60662, lamba duyları TS-289-EN 60238, yardımcı donanımlar ve performanslar TSEN 60923 ve lamba başlıkları TS EN 60061 standartlara göre imal edilmelidir [31]. Bu standartlara göre lambaların sahip olması gereken özellikler çizelge 2.5'te gösterilmiştir.

**Çizelge 2.5.** TEDAŞ MYD/94-001.B nolu teknik şartnameye göre lambalar [31]

LAMBA TİPİ	Lamba Gücü(Watt)	Lamba Başlığı	Lamba Camı, Biçimi
Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Dıştan Ateşleyicili (Dıştan İgnitörlü) Lambalar (YBSDAL)	50	E-27	Şeffaf, tüp
	70	E-27	Şeffaf, tüp
	100	E-40	Şeffaf, tüp
	150	E-40	Şeffaf, tüp
	250	E-40	Şeffaf, tüp
	400	E-40	Şeffaf, tüp
Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı İçten Ateşleyicili (İçten İgnitörlü) Lambalar (YBSİAL)	110	E-27	Opal, elips
	210-215-220	E-40	Opal, elips
	340-350-360	E-40	Opal, elips

Teknik Şartnamede standartlar gereğince lambaların ekonomik ömrünün, yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların en az 20000 saat, içten ateşleyici lambalar içinse 9000 saat olması gerekir. Buna ilaveten lambaların tip deneyleri olarak; lambanın yol verme, ısınma, kararlı çalışma, lamba başlıklarını burma, işaretleme, dayanıklılık, ortalama ömür, ekonomik ömür, gözle muayenesi gibi rutin deneyler yapılması istenmektedir [31].

Ayrıca Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 01.01.2016 yılından itibaren yeni tesis edilecek yol, cadde, sokak aydınlatma tesisatlarında LED kullanma zorunluluğu getirilmiştir. Bu tarih 2018 yılına daha sonra 2020 yılına kadar uzatılmıştır [30].

## 2.6. Yol Aydınlatmasında Kullanılan Armatürler

Yol aydınlatmasında kullanılan armatürler, montajı yapılacağı direk tipine, yere ve koşullara bağlı olarak değişir. Bu nedenle belirtilen standartlar büyük önem taşımaktadır.

### 2.6.1. Armatürler

Aydınlatma armatürleri içlerindeki ışık kaynağından çıkan ışığı amaca uygun biçimde ve dizayn edilmiş düzenlerle dağıtan, yönlendiren ve aynı zamanda ışık kaynağını dış etkilerden

koruyan, ışık kaynağının düzgün çalışması için gerekli yardımcı elemanları (duy, balast, ateşleyici vb.) koruyan düzeneklerdir. Yol aydınlatmasında montaj şekli bakımından armatürler direk ve askı tipi olmak üzere iki gruba ayrılır. Müşterek ve alçak gerilim direklerinde armatür kolu direk yapısına göre imal edilir. Yol aydınlatmasında kullanılan armatürler içlerinde ışık kaynağının ürettiği ışığı yola uygun şekilde dağıtmalı, kamaşma meydana getirmeyecek ve düzenli bakımı yapılmak koşuluyla fotometrik özelliklerini uzun süre koruyacak şekilde imal edilmelidir [26]. Bütün bu özellikleri bir arada taşıyan armatüre uygun armatür veya etkin aydınlatma armatürü denilir. Aşağıda Şekil 2.32’ de dış aydınlatma armatürünün yapısı verilmiştir.



**Şekil 2.32.** Dış Aydınlatma armatürünün yapısı

Tüm aydınlatma uygulamalarında önemli olmasına rağmen, özellikle dış koşullara dayanıklılığı ve ışığı sadece istenilen alana yönlendirmesi gerekliliği gibi nedenlerle armatür seçimi, yol aydınlatmalarında ayrı bir öneme sahiptir [21]. Bu parametreleri sağlayan armatürlerin verimi yüksek olur. Armatür verimi ise şöyle tanımlanabilir, bir armatürden çıkan toplam ışık akısının, lambanın içindeki ışık kaynağının ürettiği toplam ışık akısına oranıdır. Armatür veriminin temel parametresi armatürün fotometrik değerleridir. Fotometrik değerleri bilinmeyen bir armatürle aydınlatma tasarımı yapılamaz [21].

## 2.6.2. Işık Dağılım Yüzeyi

Noktasal bir ışık kaynağından çıkan farklı doğrultulardaki ışık şiddetlerinin uç noktalarının düzlemsel yeri bir yüzeydir ve bu yüzeye ışık kaynağının Işık Dağılım Yüzeyi ya da polar Fotometrik Yüzey olarak adlandırılmaktadır. Bir ışık kaynağının ışık dağılım yüzeyi, gerek kaynağın ışık dağılımının incelenmesi, gerekse kaynakların konumlandırılması konusunda yararlanabileceğimiz bir özelliktir. Işık kaynaklarının armatürlerle birlikte kullanılması durumunda ışık dağılım eğrileri, armatürün geometrik yapısına bağlı olarak değişimler gösterir [26].

## 2.6.3. Armatürlerin Fotometrik Özelliklerine Göre Sınıflandırılması

Aydınlatma tasarımlarında armatürlerin fotometrik değerleri çok önemlidir. Bu değerler yol aydınlatmasında kullanılan hem deşarj lambalar hem de LED lambalar için geçerlidir. Çünkü aydınlatma dizaynında standartları sağlamayan veya lambanın ışığını kontrol edemeyen aydınlatma armatürleri, aydınlatmanın amacı olan güvenliği sağlamak iken yaya ve sürücüler için tehlike oluşturma bilmektedir. Armatürlerin fotometrik değeri denilince, ışık dağılım düzlemi veya eğrileri, aydınlatma armatür verimleri, parıltı ve doğal olarak kamaşma durumu ortaya çıkar.

Uluslararası Aydınlatma Komisyonu'na göre armatürlerin ışık dağılım eğrilerine ve uzay açılına göre 3 düzlem belirlenmiştir. Bunlar A, B, C düzlemleridir. Yol aydınlatmasında kullanılan armatürler için C düzlemi dikkate alınır ve buna göre armatürler geliştirilir. Yol aydınlatmasında kullanılan armatürler, C0-180 düzleminde ışığı yana ve C90-270 düzleminde de çoğunlukla öne yaymalıdır [14]. Sadece az bir kısmı çevre aydınlatma değerinin de sağlanması için kaldırım tarafına yönlendirilmiş olmalıdır. Direkler arası bölgede karanlık alanlar kalmaması için yanlara doğru oldukça açık, direklerden uzaktaki yol şeritlerinde de aynı aydınlatma konforunu oluşturabilmek için öne doğru ışığı yaymalıdır. Ayrıca yol aydınlatma projelerinde armatür her ne kadar ışığı öne doğru yaysa bile seçilecek armatür konsol boyunun ölçüsü de çok önemlidir. Yolun genişliği ve şerit sayısı göz önünde bulundurulmalıdır.

### 2.6.3.1. C Düzlemleri ve Gamma ( $\gamma$ ) Açıları

Aydınlatma armatürlerine ilişkin ışık şiddeti değerleri ya da ışık dağılım eğrileri, düzlemler ve açılar belirtilerek tanımlanır. Yol aydınlatma armatürlerinde, C düzlemleri ve  $\gamma$

açıları ile ışık şiddet tabloları oluşturulur. Her bir düzlemde, tayin edilen her düşey fotometrik açıda ışık şiddet değerleri ölçülmektedir [14]. C0 düzleminden başlayarak tayin edilmiş belirli açılarda C360 düzlemine kadar her bir düzlemde bu ölçmeler yapılır ve tablo haline getirilir.

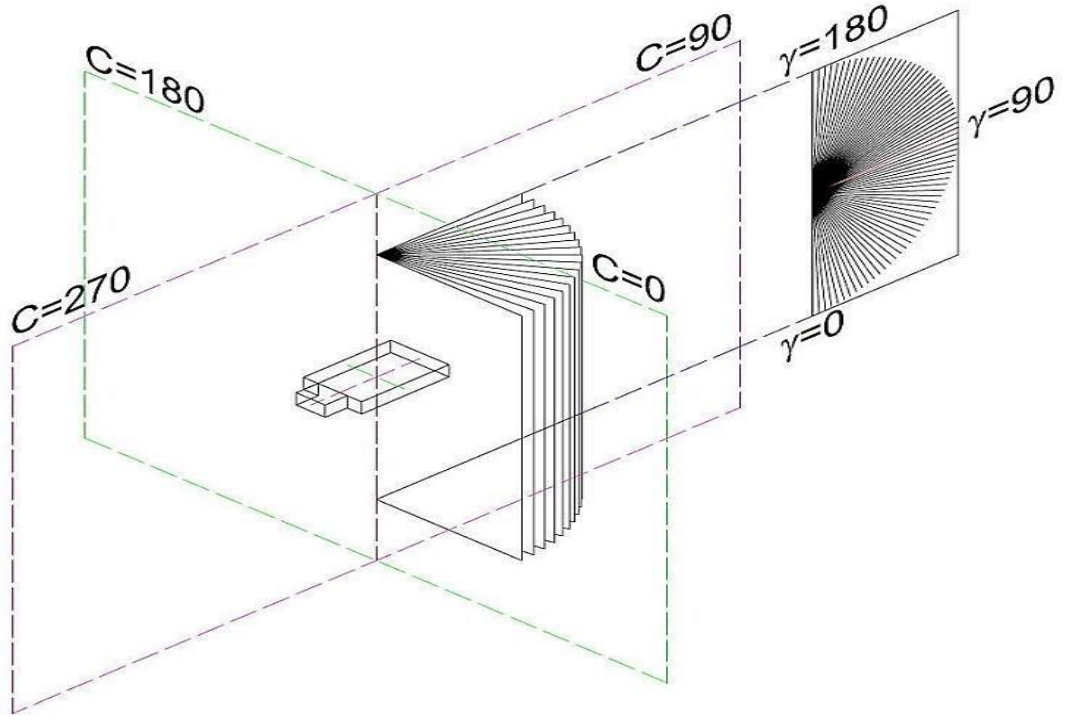
TEDAŞ Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesinde azimut açıların yani C düzlemlerindeki adım açılarının 5 derece olarak, düşey fotometrik  $\gamma$  açıların da 2,5 derece olarak alınması belirtilmektedir. Bu durumda C0, C5, C10...C360 şeklinde tayin edilir.  $360/5=72$  toplam C düzlemleri sayısı olur.  $180/2,5=72$  değeri ise bir düzlemdeki toplam ölçme sayısını gösterir. Çizelge 2.6'da C Düzlemleri ve  $\gamma$  açıları ile tanımlanan örnek ışık şiddet tablosunda gösterilmektedir. Tabloda hangi azimut açılarda değer alındığını da göstermektedir.

**Çizelge 2.6.** C düzlemleri ve  $\gamma$  açıları ile tanımlanan örnek ışık şiddet tablosu

Gamma	C 0°	C 30°	C 60°	C 90°	C 120°	C 150°	C 180°	C 210°	C 240°	C 270°	C 300°	C 330°	C 360°
0.0°	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228
10.0°	235	238	233	243	228	235	244	224	210	229	216	227	235
20.0°	258	258	241	258	244	254	248	234	216	212	211	228	258
30.0°	273	269	242	247	239	254	277	248	192	153	186	243	273
40.0°	289	304	226	195	241	285	288	234	109	48	114	237	289
50.0°	295	313	246	184	222	297	292	230	29	9.84	30	216	295
60.0°	386	363	188	63	198	357	375	174	19	10	17	169	386
70.0°	361	352	31	8.75	27	378	412	67	25	10	22	55	361
80.0°	27	64	7.79	2.51	7.89	71	48	15	25	9.25	25	15	27
90.0°	3.61	4.80	3.94	1.42	4.13	5.60	3.31	4.19	18	2.81	16	3.56	3.61
100.0°	3.75	3.26	1.24	0.80	1.56	3.05	5.01	1.33	4.41	2.12	4.06	1.96	3.75
110.0°	1.81	2.74	0.92	0.47	0.97	3.17	2.16	0.90	1.79	1.93	3.09	0.97	1.81
120.0°	0.54	1.46	0.74	0.20	0.54	1.49	0.86	0.49	1.55	1.96	0.58	0.60	0.54
130.0°	0.23	0.52	0.36	0.15	0.33	0.82	0.32	0.27	0.79	0.25	0.42	0.31	0.23
140.0°	0.18	0.25	0.24	0.09	0.24	0.29	0.29	0.15	0.28	0.11	0.22	0.11	0.18
150.0°	0.15	0.15	0.30	0.06	0.19	0.17	0.18	0.14	0.11	0.15	0.17	0.24	0.15
160.0°	0.21	0.13	0.09	0.10	0.13	0.11	0.13	0.12	0.10	0.08	0.30	0.17	0.21
170.0°	0.12	0.10	0.06	0.05	0.07	0.05	0.06	0.06	0.04	0.26	0.06	0.06	0.12
180.0°	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02

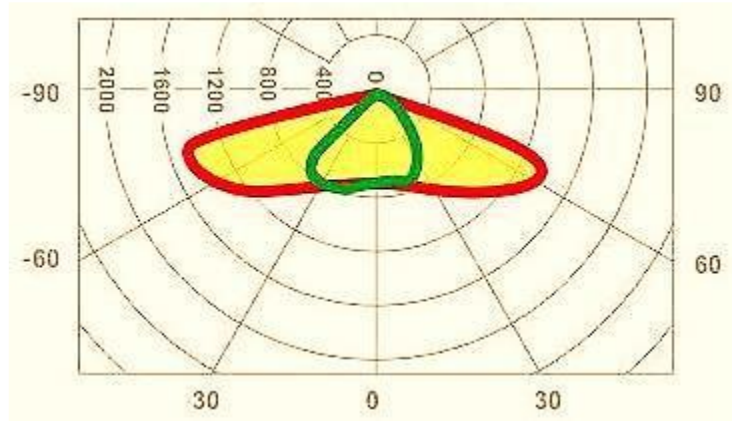
Armatürün düşey eksenini dönme eksenini kabul edildiğinde, dönme etrafındaki düzlemler C düzlemleridir. Her düzlemdeki düşey fotometrik açıları da  $\gamma$  açılarıdır [14]. Şekil 2.33'te C düzlemleri ve  $\gamma$  açıları gösterilmiştir.





**Şekil 2.33.** C düzlemleri ve  $\gamma$  açıları

Işık dağılım eğrileri, C düzleminde, dönme eksenini ile  $\gamma$  açıları yapan ışık şiddet değerlerinin geometrik yeridir [21]. Genellikle C0-C180, C90-C270 düzlemlerindeki ışık dağılım eğrileri verilmektedir. C0-180/C90-270 ışık dağılım eğrileri Şekil 2.34'te verilmiştir.



**Şekil 2.34.** C0-180/C90-270 ışık dağılım eğrileri

Yukarıda örneği verilmiş olan ışık dağılım eğrisinde, kırmızı eğri, C0-180 düzlemindeki ışık dağılım eğrisini, yeşil eğri ise C90-270 düzlemindeki ışık dağılım eğrisini düşey fotometrik açılara göre göstermektedir. Yol aydınlatmasında oluşturulan bu fotometrik değerlere göre üç

gruba ayrılır. Bunlar; yayılım derecesine göre, saçılma derecesine göre ve kamaşma derecesine göre tasnif edilir.

### 2.6.3.2. Yayılma Derecesine Göre

Armatürlerden yayılan ışığın yol boyunca kapladığı alana yayılım derecesi olarak adlandırılır [21]. Bu değer  $I_{max}$  maksimum ışık şiddetinin  $\gamma$  max düşeyle yaptığı açıya göre belirlenir. Bu açı ışık şiddetinin bulunduğu düşey düzlemde %90  $I_{max}$  eş ışık şiddeti eğrisinin armatürün ışık dağılım eğrisini kestiği iki noktanın ortası bulunarak hesaplanır [14]. Yayılım derecesine göre armatürler çizelge 2.7'deki gibi tasnif edilir.

**Çizelge 2.7.** Yayılım derecesine göre armatürler

$\gamma_{max}$ (Derece)	Sınıfı
$\gamma_{max} < 60$	Dar
$60 \leq \gamma_{max} \leq 70$	Orta
$\gamma_{max} > 70$	Geniş

### 2.6.3.3. Saçılma Derecesine Göre

Armatürden yayılan ışığın yolun enine eksenini boyunca kapladığı alana saçılım derecesi adı verilir [21]. Saçılım değeri yol üzerindeki %90  $I_{max}$  eş ışık şiddeti eğrisinin teğet olduğu yol eksenine paralel çizginin konumuna göre belirlenir. Bulunan iki çizgiden armatüre uzak olan dikkate alınır. Bu çizginin yolun enine eksenine paralel düşey düzlemde ( $C=90$ ) düşeyle yaptığı açı  $\gamma$  olarak adlandırılır [21]. Çizelge 2.8'de saçılma derecesine göre armatürler tasnif edilmiştir.

**Çizelge 2.8.** Saçılma derecesine göre armatürler

$\gamma_{max}$ (C=90 Düzlemi)	Sınıfı
$\gamma_{max} < 45$	Dar
$45 \leq \gamma_{max} \leq 55$	Orta
$\gamma_{max} > 55$	Geniş

### 2.6.3.4. Kamaşma Derecesine Göre

Armatürün ışık dağılım eğrisinin yaygın ve yoğun şiddetli olması yol parlaltısını artırırken kamaşmaya neden olmaktadır. Kamaşma, yol aydınlatmasında sürücülere zor anlar yaşatarak



konforlarını bozabildiği için aydınlatmada önemli bir parametredir. Bu neden ile projeye uygulanacak armatürlerin kamaşmayı engelleyecek yapıda olması gerekir. Belirlenen parıltı değerlerini az sayıda armatürle elde edebilmek için, ışık şiddeti değerleri yüksek ve düzgün dağılım eğrilerine sahip armatürlerin tercih edilmesi gerekir [21]. Maalesef bu da bazen kamaşmaya neden olabilir.

Kamaşmayı ortadan kaldırmada anahtarlama önemli bir etken iken tek başın yersizdir. Amacına uygun bir aydınlatma yapılabilmesi için armatürlerin ışık dağılım eğrilerinin kumanda edilmesi çok önemlidir. Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) tavsiyelerinde, armatürlerin kamaşmaları  $C=0^\circ$  ve  $C=20^\circ$  açılardaki düzlemlerde ışık dağılım eğrilerinin şekli ve eğrilerin durumuna göre ekranlı armatür, yarı ekranlı armatür ve ekransız armatür olarak üç kısma ayrılır. Çizelge 2.9'da ışık şiddeti değerleri, armatürde kullanılan lambanın ışık akısının değeri 1000 lümen baz alınarak verilmiştir [21].

**Çizelge 2.9.** CIE'ye göre armatür sınıflandırılması

Armatür Tipi	I80	I90	$I_{max}$ 'ın doğrultusu ( $\gamma$ 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			

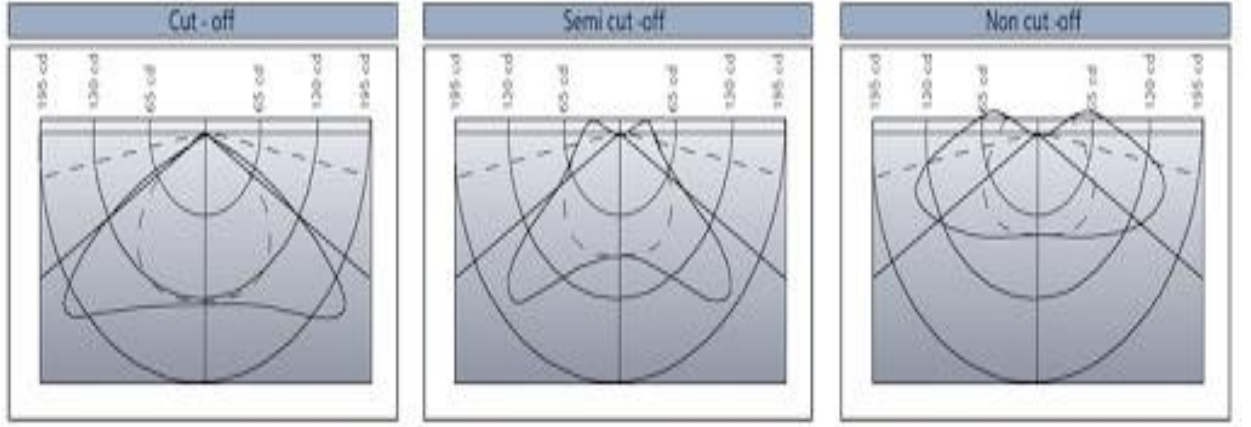
I80°:  $C=0^\circ$  ve  $C=20^\circ$ 'lik yüzeylerde düşey konuma göre  $\gamma=80^\circ$ 'lik açı altında ışık şiddeti en büyük değeri (cd/1000 lm olarak).

I90°:  $C=0^\circ$  ve  $C=20^\circ$ 'lik yüzeylerde düşey konuma göre  $\gamma=90^\circ$ 'lik açı altında ışık şiddeti en büyük değeri (cd/1000 lm olarak).

$\gamma$  : Işık şiddetinin en büyük değerini aldığı açı ( $I_{max}$ ).

TEDAŞ Malzeme Yönetimi ve Satın Alma Dairesi Başkanlığı'nca kabul edilen ve denetlenen, "Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesinde armatürlerin kamaşma kontrolleri ( $50 \text{ cd}/1000 \text{ lm} < I_{80} \leq 100/1000 \text{ lm}$ ,  $30 \text{ cd}/1000 \text{ lm} < I_{90} \leq 50 \text{ cd}/1000 \text{ lm}$  ve maksimum ışık şiddetinin düşeyle yaptığı açı  $65^\circ < \gamma_{max} \leq 75^\circ$ ) arasında olmalıdır" [23]. Bu değer de CIE gruplandırmasına göre yarı ekranlı armatüre denk gelmektedir. Aşağıda ekranlı, yarı ekranlı ve ekransız tip armatürlerde ışığın nasıl dağılım eğrileri oluşturduğu sırasıyla verilmiştir. Ekranlı,

Yarı Ekranlı ve Ekranlı tip armatürlere ait ışık dağılım eğrisi Şekil 2.35, Şekil 2.36 ve Şekil 2.37’de verilmiştir.



**Şekil 2.35.** Ekranlı tip armatüre ait ışık dağılım eğrisi **Şekil 2.36.** Yarı ekranlı tip armatüre ait ışık dağılım eğrisi **Şekil 2.37.** Ekranlı tip armatüre ait ışık dağılım eğrisi

Ayrıca TEDAŞ Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi’nde armatür verimi kriterleri de belirlenmiştir. Armatürlerin verdiği ışık akısının (lümen) armatür içindeki lambanın potansiyel ışık akısına oranlanarak bulunan en küçük verim değeri %75 olmalıdır [23]. Armatürlerden çıkan ve havaya yayılan ışık akı yüzdesi (ULOR) %10’dan büyük olursa armatür verim değerini bozar [23].

#### 2.6.3.5. IP Sınıflarına Göre Armatürlerin Sınıflandırılması

Her türlü doğa olayları ve kirlilik koşullarının etkili olduğu atmosfere açık alanlarda, yol aydınlatma sistemlerinde kullanılan armatürlerin koruma sınıfları yüksek değerlerdeki testleri geçmelidir. Aydınlatma armatürleri katı cisimlere, toz ve neme karşı armatürün dayanıklılığına bağlı olarak IP (Ingress Protection) numaralarına göre gruplandırılır.

IP sınıfları “IP (X1;X2)” şeklinde iki haneli rakamla gösterilmektedir. İlk rakam katı cisimlere karşı korumayı tanımlarken ikinci rakam ise su fişkirmalarına karşı koruma sınıfının değerini ifade eder [21]. Armatürlere ait IP koruma sınıfları çizelge 2.10’da gösterilmiştir.

**Çizelge 2.10.** Armatürlere ait IP koruma sınıfları

Armatürler IEC Standartlarında Aşağıdaki Kriterler Doğrultusunda Sınıflandırılmıştır.			
Birinci Karakteristiğin Numarası	Koruma Seviyesi		İkinci Karakteristiğin Numarası
	Kısa Tanımı	Kısa Tanımı	
0	Korumasız	Korumasız	0
1	50 mm'den büyük katı objelere karşı korumalı	Damlayan suya karşı korumalı	1
2	12 mm'den büyük katı objelere karşı korumalı	15° eğim açılı damlayan suya karşı korumalı	2
3	2.5 mm'den büyük katı objelere karşı korumalı	Püsküren suya karşı korumalı	3
4	1 mm'den büyük katı objelere karşı korumalı	Sıçrayan suya karşı korumalı	4
5	Toza karşı korumalı	Fışkıran sulara karşı korumalı	5
6	Yoğun toza karşı korumalı	Kabarmış deniz sularına karşı korumalı	6
Örneği; IP55 toza ve fışkıran sulara karşı korumayı ifade eder.		Belli bir oranına kadar suya daldırılmasına karşı korumalı	7
		Tamamı suya batırılmışken olan koruma	8

#### 2.6.4. Armatürlerin Bakım-İşletme Faktörü

Armatürlerin ışık yayan yüzeylerinde kir veya toz birikmesiyle yola düşen ışıkta azalma meydana gelir. Kirlilik sınıfları çevrenin durumuna bağlı olarak, çok temiz, temiz, orta, kirli ve çok kirli şeklinde tasnif edilmektedir. Çevrede bulunan partikül sayısı ile alakalı bir kavramdır. CIE'ye göre armatür bakım işletme faktörü çizelge 2.11'de verilmiştir.

**Çizelge 2.11.** CIE'ye göre armatürlerin bakım işletme faktörü

IP No.	Kirlenme Kategoris	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

Aydınlatma tesisatlarında kullanılan armatürlerin IP değerleri, tesisatın yapıldığı bölgedeki havanın barındırdığı tanecik miktarı ve yapılacak temizlik aralığına bağlı olarak Bakım-İşletme Faktörü belirlenir. İşletme Bakım Faktörü sistemlerin ömürlerinde önemli bir faktöre sahiptir.

## **2.7. Yol Aydınlatma Tasarımında Kullanılan Kalite Büyüklükleri**

Yol aydınlatma tesisatlarından beklenen, emniyetli ve konforlu görüş olanakları oluşturularak yolların ve alanların geceleri de rahatlıkla kullanılabilir olmasını sağlamaktır. Motorlu ve motorsuz araçlar, yaya ve hayvan trafiğinin olabildiği kent içi ulaşım yollarında trafiğin hızı, çeşidi ve çevre koşullarına uygun kriterlere sahip yol aydınlatması tesisatları ile gece kazaların sayısında ve işlenen suç oranlarında önemli bir azalma sağlanmaktadır. Bu amaçlar ile yapılan aydınlatma tesisatlarının verimli ve işlevini yerine getirebilmesi için belirli kriterler sahip olması gerekmektedir. Yol aydınlatma kriterleri ve yolun aydınlık seviyesinin standartları sağlayabilmesi için projenin tasarımında ve aydınlatma elemanlarının sağlaması gereken baz değerler vardır. Aydınlatma parlıltı değeri yol kalite kriterlerinin belirlenmesinde sık kullanılan bir parametredir. Aşağıda bu parametrelerden bahsedilmiştir.

### **2.7.1. Hesap Alanı**

Bir yol aydınlatma hesabının yapılabilmesi için bazı değişken değerlerinin bilinmesi gerekir. Bu değişkenler aydınlatılacak yolun özelliklerine göre değişir. Bu değişkenlerin aydınlatılacak yolun özelliklerine göre uyarlandığında daha verimli bir aydınlatma gerçekleştirilir. Bu değişkenler aşağıda verilmiştir.

Aydınlatma düzenine ilişkin bilgiler;

- Armatürlerin yerleştirilme düzeni (Tek taraflı düzen, orta refüj vb.)
- Armatürler arası yatay açıklık (Direkler arası mesafe)
- Direk boyu
- Konsol boyu
- Konsol eğim açısı
- Armatürlerin düşey izlerinin yol kenarına uzaklığı veya direğin yola mesafesi

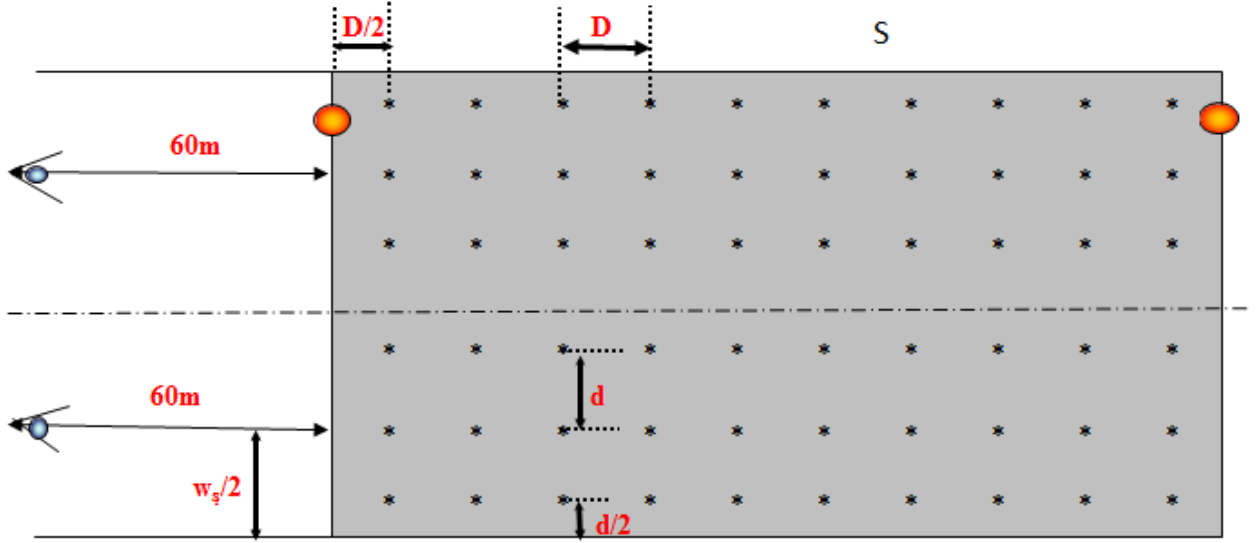
Armatürlere ilişkin bilgiler;

- Kullanılan lambanın ışık akısı
- Bakım-işletme faktörü
- Armatürün ışık dağılım tablosu
- Armatürün eğim açısı
- Armatürün fotometrik ölçüm değerleri

Yola ilişkin bilgiler;

- Yol genişliği
- Yoldaki şerit sayısı
- Her bir şeridin genişliği
- Orta refüj genişliği
- Dönemeç olması halinde yolun eğrilik yarıçapı
- Yol yüzeyinin yansıtma özelliği [22].

Yukarıda belirtilen tüm değişkenler proje tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlardır. Yolların aydınlatma hesapları belirlenirken, yolların düzgünlük durumları baz alınarak yolun tamamını temsil edecek en dar alanda yapılması gerekir. Dialüx'te hesap alanı olarak iki armatür arası alınır ve bu tüm projeye uygulanır. Fakat eğer yolda dönemeçler varsa her dönemeç eğrilik yarıçapı göz önünde bulundurularak yolun aydınlatma alanı hesabı yapılmalıdır. Şekil 2.38'de yolun hesap alanı verilmiştir.



**Şekil 2.38.** Yolun aydınlatma hesabında bulunan parametreler

Hesaplanacak alanda bulunan nokta sayısı ( $N$ ), noktalar arası uzunluk değerine göre oluşur.

$S \leq 30$  metre için  $N=10$

$S \geq 30$  metre ve  $D \leq 3$  metre ise bu koşulu gerçekleyen en küçük tam sayıdır.

$W_ş$ : Aydınlatılacak yolun şeridinin enine uzunluğudur (m).

$S$ : Aydınlatma direkleri arası uzaklık.

$D$ : Hesap noktaları arası boyuna uzunluk (m).

$d$ : Hesap noktaları arası enine uzunluk (m).

$D/2$  uzunluğu ilk hesaplanan noktaya belirlenir.

$$D = S/N \quad (2.4)$$

Noktalar arasındaki uzunluğu bulmak için

$$d = W_ş/2 \quad (2.5)$$

formülleri kullanılır. Yol alanının ötesinde yapılacak işlemler için şerit kenarından  $d/2$  mesafeden başlanması gerekir. Gözlemci yol şeridinin orta noktasında ve birinci direktten 60 metre geride olmalıdır. Gözlemi yapacak şahsın gözlerinin yerden yüksekliği 1.5 metre olarak baz alınır [2].

### 2.7.2. Yolun Yansıtma Özellikleri

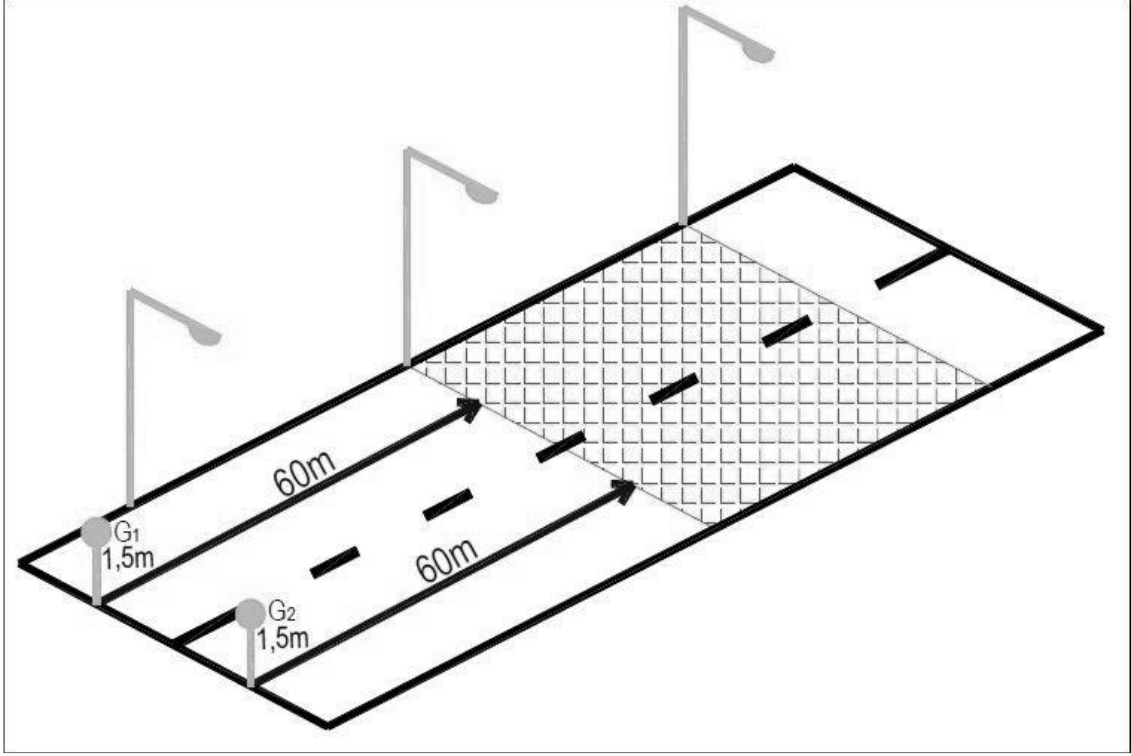
Yollar kendiliğinden ışık yaymadıkları için, kendi yüzeylerinin parıltısı yüzeye düşen ışık akısı ve dolayısıyla yüzeyden yansıyan ışıkla tayin edilir. DIALux programında tüm yol aydınlatmaları için ilk belirlediği kriter parıltıdır. Bundan parıltı kriteri ile yol aydınlatması hesabı yapılması durumunda yol yüzeyinin yansıtma faktörü de bilinmeli ve göz önünde bulundurulması gerekir.

Yol yüzeylerinin yansıtma kriterleri şu şekilde açıklanmaktadır [2]. Yol yüzeyinde bulunan maddelerin renkleri, boyutları, biçimleri gibi fiziksel özellikleri, yolun kuru veya ıslak oluşu, yolun kullanılma sıklığı, aşınma durumu, düşen aydınlatma ışınlarının yönü ve yayanın bulunduğu yere göre farklı yansıtma kriterleri barındırır. Yol yüzeylerinin yansıtma kriterleri, bir noktanın parıltı değerinin o noktada mevcut olan yatay aydınlık düzeyine oranı ile değerlendirilir. Yapılacak yol aydınlatma hesaplarında kolaylık sağlamak ve bazı standartları sağlamak için yansıtma ölçütlerine göre gruplandırılır. Uluslararası Aydınlatma Komisyonu'na göre kara yolları R1, R2, R3 ve R4 olmak üzere 4 farklı standardı bulunmaktadır [19].

Ülkemizde yol yüzeyi yansıtma kriterlerini belirlemede gerekli olan hesaplar pratikte yapılmadığı için belirlenememektedir, bu nedenle tüm yollar için R3 sınıfı olarak sayılır [2]. Yola yağmur yağdığı anda yansıtma kriterleri tümüyle değişiklik gösterir. Karanlık alanların karanlığı artar. Yol aydınlatmalarında bu koşulların proje tasarımından önce düşünülmesi ve ona göre ışık kaynakları seçilmelidir.

### 2.7.3. Ortalama Parıltı Düzeyi(Lort)

İki direk arasında kalan hesap alanında, tayin edilmiş olan hesap noktalarında, meydana gelen parıltı değerlerinin hesap noktası sayısına bölümü ile elde edilir. Lort ( $cd/m^2$ ) ile gösterilir. Gözlemcilerin hesap alanına göre konumlanması Şekil 2.39'da verilmiştir.

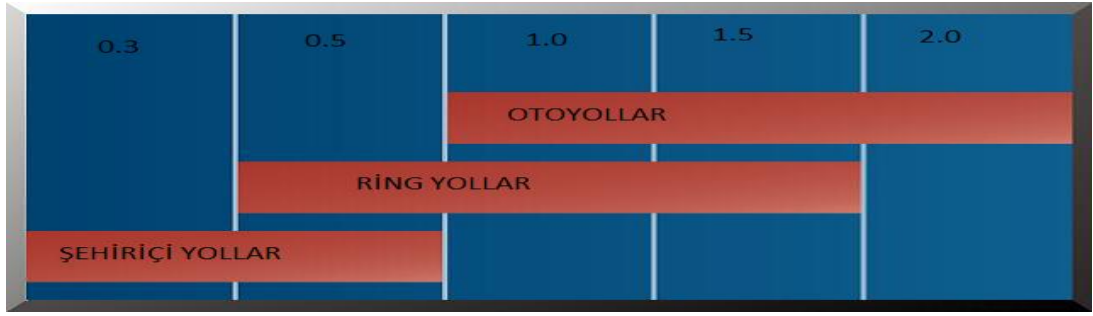
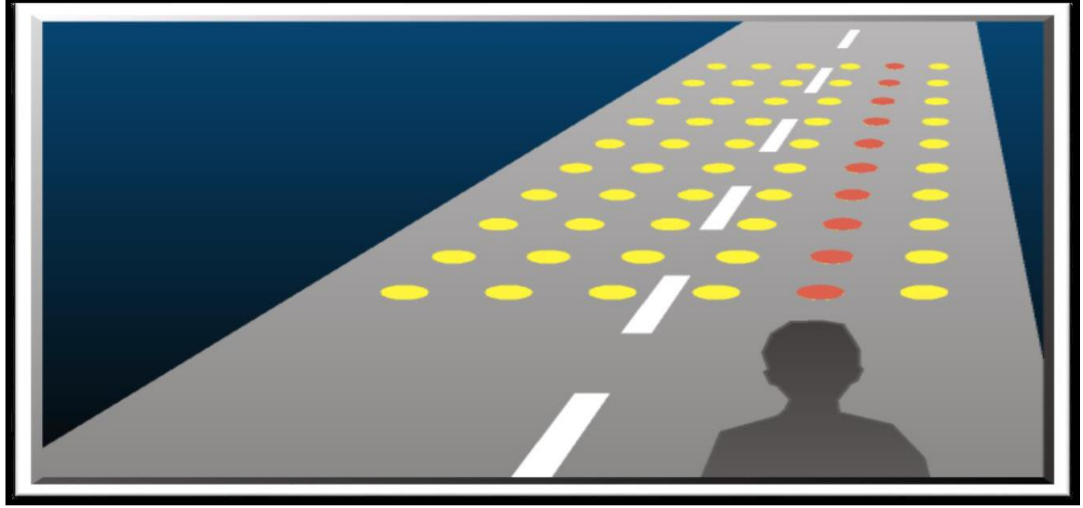


**Şekil 2.39.** Gözlemcilerin hesap alanına göre konumları [22].

Her bir gözlemci için, tüm yol üzerindeki parıltı değerleri değiştiği için, her bir gözlemci için ayrı ayrı hesap edilir. Gözlemcinin sadece kendi şeridindeki hesap noktaları değil, hesap alanının tamamı için hesap edilir. Gözlemci 1 ve Gözlemci 2 için ortalama parıltı değerleri ayrı ayrı hesaplanır. Yol aydınlatmasında kullanılan ışık kaynağının yolun belirlenen bir noktasında oluşturduğu parıltı değeri; o noktadaki yatay yüzey ve yolun yansıtma biçimine göre değişkenlik gösterir. Tipik ortalama yol yüzeyi parıltı değerleri  $2.0 \text{ cd/m}^2$  ile  $\text{cd/m}^2$  arasındadır.

Yol sınıflarına göre ortalama parıltı düzeyi değer aralığı Şekil 2.40'ta verilmiştir.





Şekil 2.40. Yol sınıflarının parıltı düzeyi ve gözlemci konumu [2].

#### 2.7.4. Ortalama Parıltı Düzgünlüğü ( $U_0$ )

Uluslararası Aydınlatma Komisyonu'na göre yol yüzeyinde parıltı değerinin en küçük olduğu hesap noktasının, yolun ortalama parıltı değerine bölünerek elde edilir. Birimi yoktur.

$$U_0 = L_{min}/L_{ort} \quad (2.6)$$

En zayıf kontrastlar sürekli olarak yol üzerinde parıltısı düşük olan bölgelerde oluşur. Yolların üstündeki tüm yerlerde yeterli düzeyde aydınlık oluşturmak için yaya veya sürücülerin görüş alanı içindeki minimum ve ortalama yol yüzeyi arasındaki farkın belirli bir değerin üzerinde bir değere sahip olması gerekir. Her bir gözlemci için tek tek ölçülerek değeri küçük olan baz alınır. Parıltı düzgünlüğü iyi olan yollar sürücü ve yayalara ekstra konfor sağlamaktadır.  $U_0$  en kötü değer kabul edilerek  $U_0 > 0.35-0.40$  değerlerinin aralığında olması gerekir [2].

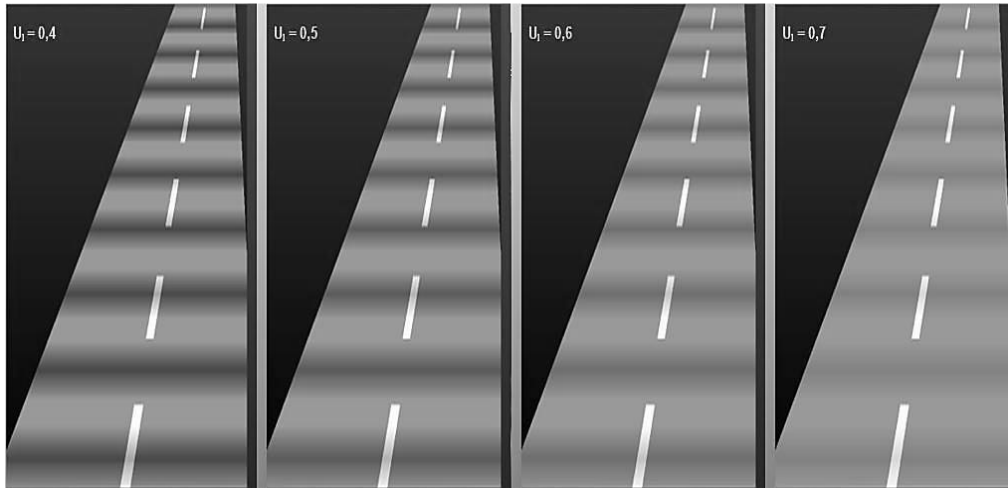
### 2.7.5. Boyuna Parıltı Düzgünlüğü ( $U_L$ )

Görsel rahatlık açısından sürücünün önünde uzanan yol parçasındaki artarda gelen karanlık ve aydınlık bölgeler sürücü açısından rahatsızlık verici bir durum oluşturur. Bu durum “Zebra Etkisi” olarak anılır [22]. Yol yüzeyindeki minimum ve maksimum parlıtlar arasındaki fark ne kadar az olursa yolun aydınlatma kalitesi artar.

Boyuna düzgünlük; gözlemcinin bulunduğu doğrultuda bulunan hesap noktaları içerisinde hesap alanına etki eden bütün armatürlerin söz konusu noktalarda oluşturduğu toplam parıltı değerleri içerisinde minimum parıltının ( $L_{min}$ ) maksimum parıltıya ( $L_{max}$ ) oranıdır [2].

$$U_L = L_{min}/L_{max} \quad (2.7)$$

Boyuna parıltı düzgünlüğü aydınlatma direkleri ara mesafesine ve armatürlerin ışık akısına bağlıdır. Boyuna parıltı düzgünlüğü Şekil 2.41’de verilmiştir.

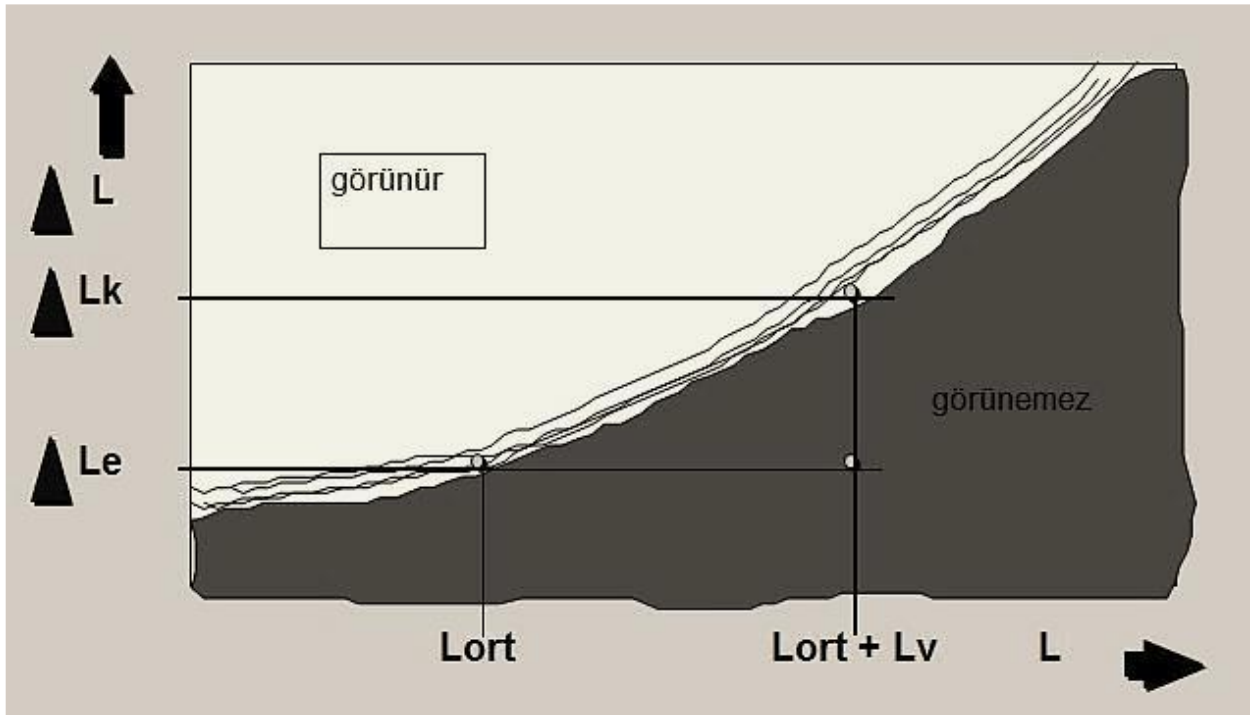


Şekil 2.41. Boyuna parıltı düzgünlüğü [2].

Şekil 2.41’de görüldüğü gibi  $U_L$  değeri ne kadar yüksek olursa boyuna düzgünlük faktörü ve yol görünümü daha düzgün olmaktadır. Yüksek hızla giden bir araç sürücüsü boyuna düzgünlük faktöründen çok daha fazla etkilenmektedir. Göz sürekli bir aydınlık bir karanlık bölgeye maruz kalarak adapte olmaya çalışır ve buda gözü yorar. Bu değer DIALux programında hesaplanarak proje tasarımcısına rapor şeklinde verilmektedir.

### 2.7.6. Kamaşma Eşik Artışı, TI (%)

Işık kaynaklarından direk olarak göze gelen ışık retinada olumsuz sonuçlar doğurur ve meydana gelen aydınlık miktarı, hem bakılan şekillerin hem de fonunun gözde oluşturduğu aydınlık miktarına negatif etki yaparak kontrastı düşürür ve görmeye engel olur. Bu etki "örtü parlıltısı" olarak değerlendirilir [19]. Kamaşma eşik artışı (TI) kamaşma yok iken görülebilen bir cismin, kamaşma koşullarında da görülebilmesi için parlıltı farkları eşiklerindeki artış yüzdesi ile verilmektedir. Kamaşma eşik artışı (TI) ve örtü parlıltısı Şekil 2.42'de verilmiştir.



Şekil 2.42. Kamaşma eşik artışı (TI) ve örtü parlıltısı

Kamaşma koşullarındaki parlıltı eşiği  $\Delta L_K$  ile kamaşma olmadığında  $\Delta L_e$  eşik farkının  $\Delta L_e$ 'ye oranı olarak yazılabilir.

$$TI = (\Delta L_K - \Delta L_e) / \Delta L_e \quad (2.8)$$

Kamaşma eşik artışı  $TI < \%10-15$  değerlerinin arasında olması gerekir [2].

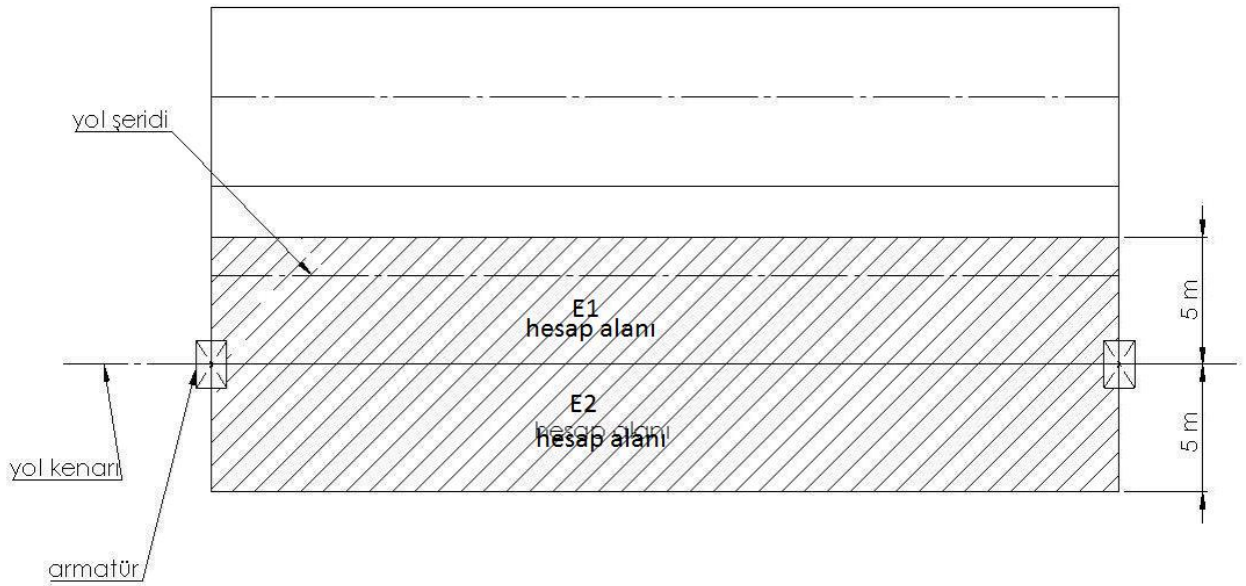
### 2.7.7. Çevre Aydınlatma Oranı (SR)

Işık kaynakları yol yüzeyini aydınlatırken belirli bir oranda da yolun kaldırımlarını ve yolda kaldırım bitişiği bölgenin de aydınlatılması sağlanır. Bu bölgede park edilmiş araçlar veya sürücüler tarafından görülmesi gereken cisimler vardır. Çevre aydınlatma oranının özellikle dönemeç ve virajlarda çok daha iyi sağlanması gerekir.

Aydınlatması düzgün bir yolda ilerleyen sürücüler, yoldaki bu aydınlığa uyum sağladıklarından dolayı karanlık alanlardaki seçiciliği çok azalır. Bu nedenle yolun yakın çevresi de aydınlatılarak cisimlerin ve canlıların görünmesi sağlanır.

Çevre aydınlatma oranı hesabı Şekil 2.43'te gösterildiği gibi kaldırım tarafının sağındaki ve solundaki 5 metrelik şeritlerin aydınlık düzeyleri hesaplanır. Daha sonra kaldırım tarafındaki aydınlık düzeyi yol tarafındaki aydınlık düzeyine bölünerek elde edilir. Bu değer  $R_{EI} > 0.5$  değerinden büyük olmalıdır. Yolun kenarındaki engeller dikkate alınmamaktadır [2].

$$R_{EI} = E_2/E_1 \quad (2.9)$$



Şekil 2.43. Çevre aydınlatma oranı hesabı

### 2.7.8. Görsel ve Optik Kılavuzlama

Sürücünün görme alanına doğru yerleştirilmiş ışık kaynaklarından gelen ışık, yolun nereye devam edeceği ve yolun birleşme ve ayrılma yerleri hakkındaki verileri sürücüye

göstererek kılavuzluk eder. Buna görsel kılavuzlama denilir [19]. Trafik güvenliği bakımından sürücünün görme alanında olan yol parçası, köprüler, karşılaşılabilecek engeller, kavşaklar vb. yerler açıkça görülebilmelidir. Ayrıca armatür düzeni ile yol gidişi ve özel noktalar daha belirgin hale getirilerek optik kılavuzlama yapılabilir.

Aşağıda optik kılavuzlama için birkaç öneri verilmiştir.

- Etrafı açık, geliş ve gidişi ayrı olan yollarda armatürler orta refüje yerleştirilmelidir.
- Virajlarda direkler virajın dış tarafına dikilmelidir.
- Kavşaklara gelen farklı sınıftaki yollar farklı ışık kaynakları ile aydınlatılabilir.
- Mümkün olan yerlerde iyi bir kılavuzlama sağlayan boyuna askı düzeni uygulanmaya çalışılmalıdır.

### **2.7.9. Uluslararası Standart ve Önerilere Göre Aydınlatma Tasarım Kriterlerinin Belirlenmesi**

Günümüz şartlarında yol aydınlatması tasarım kriterlerinin belirlenmesinde Uluslararası Aydınlatma Komisyonu önerileri (CIE) ve Avrupa Birliği standartları (CEN) esas alınmaktadır. Bu öneriler ve standartlara göre yol sınıfları tanımlanmıştır. Farklı aydınlatma sınıfına sahip her yol için sağlanması gereken farklı değerler vardır. Bu durum aydınlatma proje tasarımında ve tesis yapıldıktan sonra yapılan ölçümler açısından önemli değerlerdir.

CIE 115-1995 nolu yayında yol sınıflandırması trafik kontrolü, yolun karmaşıklığı ve kullanıcı tiplerine göre yapılmaktadır [32]. TSE 13201-2 nolu Avrupa Birliği çalışmasında ise bu sınıflandırmalar yoldan geçen araç sayısı , kavşak-yonca benzeri yol ayırım sıklıkları,suç oranları, park etmiş araçlar gibi parametrelerdikkate alınarak daha detaylı bir şekilde verilmektedir. Söz konusu uluslar arası çalışmalarda yapılan önerilerin her ülkenin kendi coğrafi, iklimsel, kültürel, ekonomik koşulları dikkate alınarak uygulanması gerektiği belirtilmektedir [21].

İTÜ Enerji Enstitüsü ve TEDAŞ (Türkiye Elektrik Dağıtım AŞ.) yaptıkları ortak çalışmalar sayesinde ve bu çalışmalarda CIE önerileri ve CEN standartları baz alınarak oluşan değer ve veriler neticesinde Türkiye'deki yollar sınıflara ayrılmış ve sağlanması gereken tasarım kriter değerleri belirlenmiştir [21]. Ülkemizde kullanılan yol tanımları ve bunlara karşı denk gelen yol aydınlatma sınıfları çizelge 2.12'de belirlenmiştir.

**Çizelge 2.12.** Türkiye şehir içi yolları ve aydınlatma sınıfları

Yol tanımı	Ayd. sınıfı
<b>Şehir bağlantı ve çevre yolları (tek veya iki yönlü, kavşaklar ve bağlantı noktaları ile şehir geçişleri dahil)</b> - Hız $\geq 90$ km/h ; - Hız $< 90$ km/h ;	M1 M2
<b>Şehir içi ana güzergahlar (bulvarlar ve caddeler ; ring yolları ; dağıtıcı yollar)</b> - $50 \text{ km/h} \leq \text{Hız} < 90 \text{ km/h}$ ; 3 km' den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı var ; - $50 \text{ km/h} \leq \text{Hız} < 90 \text{ km/h}$ ; 3 km' den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı yok; - Hız $< 50$ km/h;	M1 M2 M3
<b>Şehir içi yollar (yerleşim alanlarına giriş çıkışın yapıldığı ana yollar ve bağlantı yolları)</b> - Hız $\geq 50$ km/h ; 3 km' den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı var ; - Hız $\geq 50$ km/h ; 3 km' den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı yok ; - Hız $< 50$ km/h ; 3 km' den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı var ; - Hız $< 50$ km/h ; 3 km' den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı yok ;	M3 M4 M4 M5
<b>Yerleşim (ikametgah) bölgelerindeki yollar</b> - $30 \leq \text{Hız} < 50$ km/h ; suç oranı yüksek; - $30 \leq \text{Hız} < 50$ km/h ; suç oranı normal; - Hız $< 30$ km/h ; suç oranı yüksek; - Hız $< 30$ km/h ; suç oranı normal;	M4 M5 M5 M6

CIE 115 2010'a göre M aydınlatma sınıfının kriterlerini saptamada etkili olan ağırlık faktörleri toplamı (AFT) ve (6-AFT) denklemiyle aydınlatma sınıfının kriterleri ortaya çıkmaktadır. Değerin ondalıklı sayı çıkması durumunda en yakın tam sayı değeri alınır.

$$MX=6-AFT \quad (2.10)$$

CIE'ye göre M aydınlatma sınıfını belirlemede kullanılan parametreler çizelge 2.13'te verilmiştir.

**Çizelge 2.13.** CIE 115- 2010'a göre M aydınlatma sınıfını belirlemede kullanılan parametreler

Parametre	Seçenekler	Ağırlık Faktörü (AF)
Hız	Çok Yüksek	1
	Yüksek	0,5
	Orta	0
Trafik Yoğunluğu	Çok yüksek	1
	Yüksek	0,5
	Orta	0
	Düşük	-0,5
	Çok düşük	-1
Trafik Düzeni	Yüksek oranda motorlu olmayan trafik ile karışık	1
	Karışık	0,5
	Yalnızca motorlu araç	0
Yol refüj ile ayrılmış mı	Hayır	1
	Evet	0
Kesişme yoğunluğu	Yüksek	1
	Orta	0
Park etmiş araç	Var	0,5
	Yok	0
Çevre aydınlatması	Yüksek	1
	Orta	0
	Düşük	-1
Görsel Kılavuzlama/Trafik	Zayıf	0,5
	Orta yada iyi	0
		Ağırlık Faktörlerinin Toplamı

M1 ve M6 arasında değişen altı farklı aydınlatma sınıfından güvenli ve konforlu bir yol aydınlatması yapılması için sağlanması gereken kalite büyüklük değerleri çizelge 2.14'te verilmiştir.

**Çizelge 2.14.** M1, M2, M3, M4, M5 ve M6 aydınlatma sınıfları için sağlanması gereken değerler

Aydınlatma sınıfı	Lort(cd/m <sup>2</sup> )	U <sub>o</sub>	UL	TI (%)	SR
M1	≥ 2.2 cd/m <sup>2</sup>	≥ 0.40	≥ 0.70	≤ 10 %	≥ 0.5
M2	≥ 1.5 cd/m <sup>2</sup>	≥ 0.40	≥ 0.70	≤ 10 %	≥ 0.5
M3	≥ 0.10 cd/m <sup>2</sup>	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 10 %	≥ 0.5
M4	≥ 0.75 cd/m <sup>2</sup>	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15 %	≥ 0.5
M5	≥ 0.50 cd/m <sup>2</sup>	≥ 0.35	≥ 0.40	≤ 15 %	≥ 0.5
M6	≥ 0.30 cd/m <sup>2</sup>	≥ 0.35	≥ 0.40	≤ 15 %	≥ 0.5

Çizelge 2.14'te verilen ve yol üzerinde sağlanması amaçlanan parlaklık düzeyi ve diğer kalite büyüklüklerinin tasarımı aşamasında hesaplanan değerlerin, gerçek yol koşulları ile uyumlu olabilmesi için aydınlatılan yolun yansıtma özellikleri de bilinmelidir. Aksi takdirde tasarlanan ile sahada montajı yapılan tesisteki değerler birbirini tutmaz. Ülkemizde Kara Yolları Genel Müdürlüğü sorumluluğundaki otoyollarda bile tasarım aşamasında yol yüzeyi yansıtma özellikleri belirlenmemekte ve tüm yollar R3 sınıfı olarak kabul edilmektedir [21]. Sorumlu işletmelerin bu konu üzerinde dikkatle durması ve ölçüm koşullarının sağlanması sağlıklı bir aydınlatma için gereklidir.

Muş İli İstasyon Caddesi'nde 150 W LED lamba ile yapılan aydınlatma tesisinde Araç Yolu 1 ve Araç Yolu 2 için iki farklı gözlemciye göre M5 sınıfına ait yolda sağladığı büyüklük değerleri çizelge 2.15 ve çizelge 2.16'da verilmiştir. Bu değerler Dialux Programından alınmıştır. Programa direk arası mesafe olarak minimum 32 metre ve maksimum değer olarak da 35 metre girilmiştir. Aydınlatma noktasının yerden yüksekliği 8.98 metre'dir. Dialux programında seçilen diğer değerler EK1 olan Muş İli İstasyon Caddesi 150 Watt LED Lamba ile Aydınlatma dokümanında detaylı olarak bulunmaktadır.



**Çizelge 2.15.** 150 Watt LED lamba ile M5 sınıfına ait Araç Yolu 1’de sağlanan değerler

Araç Yolu 1 (M5) değerlendirme alanı için sonuçlar				
Araç Yolu 1 (M5)	Büyükük	Hesaplanan	Nominal	Kontrol
	Lm	2.10 cd/m <sup>2</sup>	≥ 0.5 cd/m <sup>2</sup>	✓
	U <sub>o</sub>	0.51	≥ 0.35	✓
	U <sub>l</sub>	0.41	≥ 0.40	✓
	TI	1 %	≤ 15 %	✓
	Ra	0.37	≤ 0.30	✓
İzleyici için sonuçlar				
Gözlemci 1	Büyükük	Hesaplanan	Nominal	Kontrol
Konum -60.000 m, 9.750 m, 1.500m	Lm	2.14 cd/m <sup>2</sup>	≥ 0.5 cd/m <sup>2</sup>	✓
	U <sub>o</sub>	0.51	≥ 0.35	✓
	U <sub>l</sub>	0.41	≥ 0.40	✓
	TI	1 %	≤ 15 %	✓
	İzleyici için sonuçlar			
Gözlemci 2	Büyükük	Hesaplanan	Nominal	Kontrol
Konum -60.000 m, 9.750 m, 1.500m	Lm	2.10 cd/m <sup>2</sup>	≥ 0.5 cd/m <sup>2</sup>	✓
	U <sub>o</sub>	0.51	≥ 0.35	✓
	U <sub>l</sub>	0.49	≥ 0.40	✓
	TI	1 %	≤ 15 %	✓

**Çizelge 2.16.** 150 Watt LED lamba ile M5 sınıfına Ait Araç Yolu 2’de sağlanan değerler

Araç Yolu 2 (M5) değerlendirme alanı için sonuçlar				
Araç Yolu 2 (M5)	Büyükük	Hesaplanan	Nominal	Kontrol
	Lm	2.10 cd/m <sup>2</sup>	≥ 0.5 cd/m <sup>2</sup>	✓
	U <sub>o</sub>	0.51	≥ 0.35	✓
	U <sub>l</sub>	0.41	≥ 0.40	✓
	TI	1 %	≤ 15 %	✓
	Ra	0.37	≤ 0.30	✓
İzleyici için sonuçlar				
Gözlemci 1 Konum	Büyükük	Hesaplanan	Nominal	Kontrol
-60.000 m, 9.750 m, 1.500m	Lm	2.10 cd/m <sup>2</sup>	≥ 0.5 cd/m <sup>2</sup>	✓
	U <sub>o</sub>	0.51	≥ 0.35	✓
	U <sub>l</sub>	0.49	≥ 0.40	✓
	TI	1 %	≤ 15 %	✓
İzleyici için sonuçlar				
Gözlemci 2 Konum	Büyükük	Hesaplanan	Nominal	Kontrol
-60.000 m, 9.750 m, 1.500m	Lm	2.14 cd/m <sup>2</sup>	≥ 0.5 cd/m <sup>2</sup>	✓
	U <sub>o</sub>	0.51	≥ 0.35	✓
	U <sub>l</sub>	0.41	≥ 0.40	✓
	TI	1 %	≤ 15 %	✓

Muş İli İstasyon Caddesi’nde 250 W YBSBL ile yapılan aydınlatma tesisinde Araç Yolu 1 ve Araç Yolu 2 için iki farklı gözlemciye göre M5 sınıfına ait yolda sağladığı büyükük değerleri çizelge 2.17 ve çizelge 2.18’de verilmiştir. Bu değerler Dialüx Programından alınmıştır. Programa direk arası mesafe olarak minimum 32 metre ve maksimum değer olarak da 35 metre girilmiştir. Aydınlatma noktasının yerden yüksekliği 10.347 metre’dir. Dialüx programında seçilen diğer değerler EK2 olan Muş İli İstasyon Caddesi 250 Watt YBSBL ile Aydınlatma dokümanında detaylı olarak bulunmaktadır. Bu direk ara mesafelerine göre toplam direk ve armatür sayıları belirlenmiştir. Böylece maliyet analizi yapılmıştır.

**Çizelge 2.17.** 250 Watt YBSBL ile M5 sınıfına ait Araç Yolu 1’de sağlanan değerler

Araç Yolu 1 (M5) değerlendirme alanı için sonuçlar				
Araç Yolu 1 (M5)	Büyükük	Hesaplanan	Nominal	Kontrol
	Lm	2.07 cd/m <sup>2</sup>	≥ 0.5 cd/m <sup>2</sup>	✓
	Uo	0.50	≥ 0.35	✓
	UI	0.60	≥ 0.40	✓
	TI	10 %	≤ 15 %	✓
	Ra	0.67	≤ 0.30	✓
İzleyici için sonuçlar				
Gözlemci 1 Konum	Büyükük	Hesaplanan	Nominal	Kontrol
-60.000 m, 3.750 m, 1.500m	Lm	2.22 cd/m <sup>2</sup>	≥ 0.5 cd/m <sup>2</sup>	✓
	Uo	0.51	≥ 0.35	✓
	UI	0.60	≥ 0.40	✓
	TI	7 %	≤ 15 %	✓
İzleyici için sonuçlar				
Gözlemci 2 Konum	Büyükük	Hesaplanan	Nominal	Kontrol
-60.000 m, 7.250 m, 1.500m	Lm	2.07 cd/m <sup>2</sup>	≥ 0.5 cd/m <sup>2</sup>	✓
	Uo	0.50	≥ 0.35	✓
	UI	0.61	≥ 0.40	✓
	TI	10 %	≤ 15 %	✓

**Çizelge 2.18.** 250 Watt YBSBL ile M5 sınıfına ait Araç Yolu 2’de sağlanan değerler

Araç Yolu 2 (M5) değerlendirme alanı için sonuçlar				
Araç Yolu 2 (M5)	Büyükük	Hesaplanan	Nominal	Kontrol
	Lm	2.07 cd/m <sup>2</sup>	≥ 0.5 cd/m <sup>2</sup>	✓
	Uo	0.50	≥ 0.35	✓
	UI	0.60	≥ 0.40	✓
	TI	10 %	≤ 15 %	✓
	Ra	0.67	≤ 0.30	✓
İzleyici için sonuçlar				
Gözlemci 1	Büyükük	Hesaplanan	Nominal	Kontrol
Konum -60.000 m, 11.750 m, 1.500m	Lm	2.07 cd/m <sup>2</sup>	≥ 0.5 cd/m <sup>2</sup>	✓
	Uo	0.50	≥ 0.35	✓
	UI	0.61	≥ 0.40	✓
	TI	10 %	≤ 15 %	✓
İzleyici için sonuçlar				
Gözlemci 2	Büyükük	Hesaplanan	Nominal	Kontrol
Konum -60.000 m, 15.250 m, 1.500m	Lm	2.22 cd/m <sup>2</sup>	≥ 0.5 cd/m <sup>2</sup>	✓
	Uo	0.51	≥ 0.35	✓
	UI	0.60	≥ 0.40	✓
	TI	7 %	≤ 15 %	✓

Araç yollarını gözlemleyen iki gözlemcinin LED ve YBSB ile yapılan yol aydınlatmalarında çizelge 2.15, çizelge 2.16, çizelge 2.17 ve çizelge 2.18’de gözlemledikleri parlıtlı değeri, kamaşma, boyuna düzgünlük ve ortalama düzgünlük değerlerinin sağladığı görülmüştür. YBSBL’nin uygun değerde seçilmemesi durumunda kamaşmaya neden olabileceği gözlemlenmiştir. Boyuna aydınlatma düzgünlük değerinde ise ideal olduğu görülmektedir. Bu da LED’in sadece belirlenen yere ışın göndermesinden kaynaklanmaktadır. LED ve YBSBL’nin ortalama parlıtlı değerleri neredeyse aynıdır.

### **3. BULGULAR VE TARTIŞMA**

#### **3.1. Sokak Aydınlatmasında Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lambadan Led Lambaya Dönüşümü Yapılan Bir Tesisatın Analizi**

Temininde büyük güçlükler yaşanan elektrik enerjisini tüketen sistemlerden biri de aydınlatma tesisatlarıdır. Enerji verimliliği kapsamında yoğun olarak yürütülen çalışmalar arasında, kolay uygulanabilir ve izlenebilir olduğu için yol ve sokak aydınlatmalarında yeni teknoloji LED’li armatürlerin kullanılması sürekli gündemdedir.

Aydınlatma sektöründe kullanımı yaygınlaşmaya başlayan LED lambalar, il-ilçe belediyeleri ve enerji dağıtım şirketleri tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Enerji Bakanlığı’nın Sokak aydınlatmalarında yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalardan LED lambaya dönüşüm çalışmaları 2012 yılından beri devam etmektedir.

Enerji Bakanlığı tarafından mevcut tesislerin dönüşümü için aşağıdaki yöntemler önerilmiştir.

- İlk etapta il merkezleri ve nüfusu en düşük il nüfusunun üzerinde olan ilçe merkezlerinden başlanacaktır [2].
- 3 yıl içinde yüksek basınçlı civa buharlı tesisatların dönüşümü sağlanmalıdır [2].
- 5 yıl içinde 10 yıldan eski yüksek basınçlı sodyum buharlı tesisatların dönüşümü sağlanmalıdır [2].

2012 yılında belirlenen kriterlerin başlanma tarihi 01/01/2016 olarak belirlendi. Daha sonra bu tarih 01/01/2018 tarihine ertelendi [2]. Bu tarihte de herhangi bir çalışma yapılmadı. En son dağıtım şirketlerine 2020 yatırım programlarına her dağıtım şirketi faaliyet gösterdiği bölgelerde 1000 adet LED armatür kullanma şartı getirildi. Bundan sonra yaşanacak gelişmeler LED armatürlerin sokak aydınlatmasında kullanım alanlarını belirlemeye devam edecektir.

##### **3.1.1. Çalışma Sahası**

LED dönüşüm uygulamasının yapıldığı saha, Muş İli’nin en işlek ve yoğun trafiğe sahip olan İstasyon Caddesi’dir. Dönüşüm için seçilme nedeni Muş Belediyesi’nin bu sahada alt-üst yapı çalışması yapmasıdır. Şekil 3.1’de Muş İli İstasyon Caddesi’nin çalışma sahasının alanı kırmızı renk ile belirtilmiştir.



Şekil 3.1. LED dönüşüm yapılan Muş İli İstasyon Caddesi



Şekil 3.2. LED dönüşümü yapıldıktan sonra Muş İli İstasyon Caddesi

LED aydınlatmadan sonra İstasyon Caddesi görünümü şu şekilde olmuştur. Resim aydınlatma tesisinin yapıldığı yaz mevsiminde çekilmiştir.

Bu aydınlatma sahasında mevcut aydınlatma orta refüj santrifüj betonarme direklerden oluşmaktaydı. Kullanılan lambalar ise 250 W yüksek basınçlı sodyum buharlı armatürlerden oluşmaktaydı. Aydınlatma yapılan toplam mesafe 3.2 kilometredir. Şekil 3.3 ve Şekil 3.4' te mevcut aydınlatma direk ve armatürleri gösterilmiştir.



**Şekil 3.3.** Muş İstasyon Caddesi mevcut aydınlatma direği



**Şekil 3.4.** Muş İstasyon Caddesi mevcut aydınlatma armatürleri

Muş İstasyon Caddesi yeni aydınlatma armatürleri Şekil 3.5'te verilmiştir.



**Şekil 3.5.** Muş İstasyon Caddesi yeni aydınlatma armatürleri

Mevcut çalışma sahasında 98 adet direk, 196 adet armatürde yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba kullanılmaktadır. LED dönüşümü yapıldığında 195 adet direk, 195 adet de LED lamba kullanılmaktadır. Kullanılan armatür (HPS1Y-144S-150 AC) 150 W gücünde 18000 (lm) ışık akısına sahiptir [34]. Toplam direk sayıları toplam yol uzunluğunun direk ara mesafelerine bölünmesi ile elde edilmiştir.

### **3.1.2. Kullanılan Yöntem**

Aydınlatmada kullanılan lambalar elektriğin kullanılmasından bugüne kadar sürekli değişerek ve gelişerek günümüze ulaşmıştır. Dolayısıyla sokak aydınlatmalarında da bir önceki sisteme göre yeni geliştirilen sistemler kullanılarak bugüne gelinmiştir. TEDAŞ'ın sorumluluğunda olan sokak, cadde, bulvar, şehirlerin giriş çıkışlarındaki yollar ve halka açık



umumi yerlerin aydınlatılmasında uzun süreden beridir yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar kullanılmaktaydı ve halen de kullanılmaktadır. Yeni nesil teknoloji olarak değerlendirilen LED lambaların dış mekan aydınlatmalarda kullanımını ve kullanım sonucu elde edilecek enerji tasarrufu ve bu enerji tasarrufu ile yapılacak maliyet analizi ve sistemin kendinin amorti etme süresi hesaplanarak çıkan sonuçlar değerlendirilecektir. Bölgedeki aydınlatma direk ve armatürlerin çeşidi, sayısı, güçleri, coğrafi konumları ile ilgili veriler VEDAŞ (Vangözü Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi) Muş İl Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

Dönüşümde kullanılacak olan LED lambalar ise Muş Belediyesi tarafından seçilmiştir. Seçilen LED lambaların katalog değerleri, güçleri ve verdikleri aydınlatma şiddeti değerleri değerlendirilmiştir. Kullanılan direk ve LED lamba bilgileri Muş Belediyesi'nden temin edilmiştir. Aynı zamanda Muş Belediyesi bu verileri Muş İl Aydınlatma Komisyonu'na da sunmuştur. Mevcut durumda bulunana direk ve armatür tipleri çizelge 3.1'de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Muş İstasyon Caddesi mevcut aydınlatma direk ve armatür sayıları

Direk Tipi	Armatür Tipi	250 W Armatür Sayısı	Toplama Direk Sayısı	Çift Armatürlü Direk Sayısı	Toplam YBSBL Sayısı
Santrifüj Betonarme Aydınlatma Direği (12/3)	Standart	196	98	98	196
Toplam		196	98	98	196

### 3.1.3. Enerji Tüketim Oranları

Çalışma sahasındaki mevcut yüksek basınçlı sodyum buharlı armatürlerin sahada balast kayıpları dahil katalog değerleri baz alınarak toplam tüketilen enerji miktarı bulunmuştur. Çizelge 3.2'de Muş İli İstasyon Caddesi'nde armatür lamba sayıları bazında elde edilen güç tasarruf miktarı verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Muş İstasyon Caddesi'ndeki güç tasarruf miktarı ve oranları

Markası	Harcadığı Güç (Balast dahil)	Adedi	Toplam Güç (W)
Simetri (250 W)	290,6 W	196	56957,6
Moduled (150 W)	142 W	195	27690
	Toplam Tüketilen Güç Değeri Farkı		29267,6
	Toplam Güç Tasarruf Oranı (%)		51.38488981

Toplam direk sayıları toplam yol uzunluğunun direk ara mesafelerine bölünmesi ile elde edilmiştir.

Tasarruf miktarı= (Mevcut Sodyum Buharlı Lambaların Şebekeden Çektiği Güç-LED Dönüşüm Sonrası Şebekeden Çekilen Güç)\*100 olarak formülize edebiliriz.

$$\text{Tasarruf Miktarı}=59957,6 \text{ W}-276900 \text{ W}=29267,6 \text{ W}=29267,6 \text{ kW}$$

$$\text{Güç Tasarruf Oranı (\%)}=(29267,6/56957,6)*100=51,38$$

#### 3.1.4. Kurulum Maliyeti

Mevcut aydınlatma tesisi dönüşümünde, 196 adet 250 W armatür 98 adet santrifüj betonarme aydınlatma direği (12/3) demontaj edilecektir. Bunun yerine 195 adet LED armatür, 195 adet alüminyum aydınlatma direği, 1950 metre 2\*2,5 nym kablo, 195 adet 6 A anahtarlı otomatik sigorta, 6790 metre 4\*10 nyy kablo ve 6790 metre 1\*35 örgülü bakır, 360 metre 1\*50 kablo ve 30 adet topraklama kazığı kullanılmıştır. Ayrıca 1075 metre küp kablo kanalı yapılmıştır. Yukarıda belirtilen tüm malzemelerin TEDAŞ 2018 Elektrik Proje ve Tesis Birim Fiyat Kitabı'na göre keşfi çıkarılıp kurulum maliyeti hesaplanacaktır. Bunlara ilaveten TEDAŞ 2018 Elektrik Proje ve Tesis Birim Fiyat Kitabı'nda bulunmayan alüminyum aydınlatma direk fiyatları üretici firmadan alınacaktır. LED aydınlatmada alüminyum direk kullanıldığında oluşan maliyet çizelge 3.3'te ve YBSB aydınlatmada beton direk kullanıldığında oluşan maliyet çizelge 3.4'te verilmiştir. Muş ili İstasyon Caddesi'nde bu tip aydınlatma yapıldığında maliyetleri detaylı olarak verilmiştir. Ayrıca çizelge 3.5'te tüm direk tiplerine göre LED armatür ile oluşan maliyet ve çizelge 3.6'da tüm direk tiplerine göre YBSB armatür ile oluşan maliyet verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Alüminyum direkli ve LED armatür ile oluşan maliyet

Poz Numarası	Malzeme veya İşin Cinsi	Ölçü	Malzeme Miktarı	Malzeme Birim Fiyatı	Montaj Miktarı	Montaj Birim Fiyatı	Malzeme Toplam Tutarı	Moontaj Toplam Tutarı
24.7.2.3	Anahtarlı otomatik sigorta							
	220 V, 6 A	Adet	195	4,51	195	30,6	879,45	5967
30.0	Topraklamalar							
30.2.2	1*50 nvy kablo	Metre	360	12,17	360	15,98	4381,2	5752,8
30.2.3	1*35 mm <sup>2</sup> (319,26 Kg/Km) bakır iletken	Metre	6790	9,93	6790	15,98	67424,7	108504,2
30.4.2	2 metre uzunluğundaki (65*65*7) 'lik galvanizli topraklama kazığı	Adet	30	54,71	30	111,06	1641,3	3331,8
ÖZEL POZ	Kablo kanalı yapılması							
	Toprak kablo kanalı yapılması	Metre küp			1034	144,63	0	149547,42
ÖZEL POZ	LED armatür							
	150 W armatür							0
	Alüminyum aydınlatma direkleri	Adet	195	10250	195		1998750	
32.12	500 V nym kablo (antigron)							
	2*2,5 mm <sup>2</sup>	Metre	1950	1,83	1950	10,46	3568,5	20397
32.0	Yerlatı kabloları							
32.11	0,6/1 kV nvy kablo	Metre	6790	10,94	8595	8,09	74282,6	69533,55
Toplam (TL)							2150927,75	363033,77
Genel Toplam (TL)							2513961,52	

**Çizelge 3.4.** Beton direkli ve YBSB armatür ile oluşan maliyet

Poz Numarası	Malzeme veya İşin Cinsi	Ölçü	Malzeme Miktarı	Malzeme Birim Fiyatı	Montaj Miktarı	Montaj Birim Fiyatı	Malzeme Toplam Tutarı	Moontaj Toplam Tutarı
5.6.	Santrifüj betonarme direkler							
	Emniyet kat sayısı 2.0 olan direkler					117600	1,29	151704
	12//3 Direği (1200 Kg)	Adet	98	402,44	98		39439,1	
20.5.1	Sokak aydınlatma armatürleri							
	Yüksek basınçlı sodyum buharlı armatür (lamba dahil)							
	250 W Armatür	Adet	196	136,65	196	205,02	26783,4	40183,9
24.7.2.3	Anahtarlı otomatik sigorta							
	220 V, 6 A	Adet	195	4,51	195	30,6	879,45	5967
30.0	Topraklamalar							
30.2.2	1*50 nvy kablo	Metre	360	12,17	360	15,98	4381,2	5752,8
30.2.3	1*35 mm <sup>2</sup> (319,26 Kg/Km) bakır iletken	Metre	6790	9,93	6790	15,98	67424,7	108504
30.4.2	2 metre uzunluğundaki (65*65*7) 'lik galvanizli topraklama kazığı	Adet	30	54,71	30	111,06	1641,3	3331,8
ÖZEL POZ	Kablo kanalı yapılması							
	Toprak kablo kanalı yapılması	Metre küp			1034	144,63	0	149547
32.12	500 V nym kablo (antigron)							
	2*2,5 mm <sup>2</sup>	Metre	1950	1,83	1950	10,46	3568,5	20397
32.0	Yerlatı kabloları							
32.11	0,6/1 kV nvy kablo	Metre	6790	10,94	8595	8,09	74282,6	69533,6
Toplam (TL)							218400	554922
Genel Toplam (TL)							773321,96	

**Çizelge 3.5.** Tüm direk tiplerine göre LED armatür ile oluşan maliyet

Aydınlatma direk tipi	Maliyet (TL)
Alüminyum direkli LED aydınlatma	2513961,52
Beton direkli LED aydınlatma	958888,05
Galvaniz direkli LED aydınlatma	892430,33

**Çizelge 3.6.** Tüm direk tiplerine göre YBSB armatür ile oluşan maliyet

Aydınlatma direk tipi	Maliyet (TL)
Beton direkli YBSBL aydınlatma	773326,47
Galvaniz direkli YBSBL aydınlatma	706868,75

Aydınlatma tesisinde sadece armatür dönüşümü yapıldığında oluşan maliyet çizelge 3.7’te verilmiştir.

**Çizelge 3.7.** Aydınlatma tesisinde sadece armatür dönüşürse oluşan maliyet

Aydınlatma Tesisinde Sadece Armatürler Dönüşürse Oluşan Maliyet											
Poz numarası	Malzeme veya İşin Cinsi	Ölçü	Malzeme Miktarı	Malzeme Birim Fiyatı	Montaj Miktarı	Montaj Birim Fiyatı	Demontaj Miktarı	Demontaj Birim Fiyatı	Malzeme Toplam Tutarı	Montaj Toplam Tutarı	Demontaj Toplam Tutarı
20.5.1	Sokak Aydınlatma Armatürleri										
	Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Armatür (lamba hariç)										
	250 W armatür	Adet					216	33,1	0	0	7149,6
Özel Poz	LED armatür										
	150 W armatür	Adet	195	733	195	87			142935	16965	0
Toplam (TL)									142935	16965	7149,6
Genel Toplam (TL)										167049,6	

Aydınlatma tesislerinde kullanılan direk ve armatür haricinde diğer malzemeler ayırdır. Çizelge 3.5 ve çizelge 3.6’deki maliyet farklarının nedeni armatür ve direk tiplerinin farklı olmasıdır. Çizelge 3.5’te görüldüğü gibi LED aydınlatma sisteminin kurulum maliyeti YBSB aydınlatma sisteminden fazladır. Eğer aydınlatma direkleri alüminyum değil de galvaniz veya beton direk olarak seçilse kurulum maliyeti azalır. LED aydınlatma yapılsa bile çelik galvaniz aydınlatma direklerinin statik hesapları LED armatüre göre yapılmalı. Alüminyum aydınlatma direklerinin birim fiyatları çok yüksektir. Bu nedenle sadece aydınlatma armatürünü taşıyacak sade direkler tercih edilmelidir. Ayrıca çizelge 3.7’de görüldüğü gibi aydınlatma tesisinde sadece armatür değiştirilerek dönüşüm yapılırsa oluşacak maliyet azalmaktadır. Süs için ve yazı için aydınlatma direklerine yapılan logo vb. aparatlar maliyeti artırmaktadır. LED lambalar kullanılsa bile yapılan projeler düzgün dizayn edilmemesi maliyet artışlarına sebep olmaktadır.

**3.1.5. Sistemin Amorti Süresi**

Genel aydınlatma yönetmeliğine göre ülkemizde aydınlatma armatürlerinin günlük 11,5 saat çalıştığı kabul edilmektedir. Bu durumda, şebekeden çekilen toplam güç, saatlik olduğundan, bir günde çekilen toplam gücü 11,5 ile çarpılır. Böylece günlük aydınlatma için

tüketilen yük bulunur. Günlük Enerji Tüketimi=Şebekeden Çekilen Güç(saatlik)\*11.5 olarak yazılabilir. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba ile LED armatürlerin yıllık tüketim bedelleri hesaplanıp çizelge 3,8’de verilmiştir.

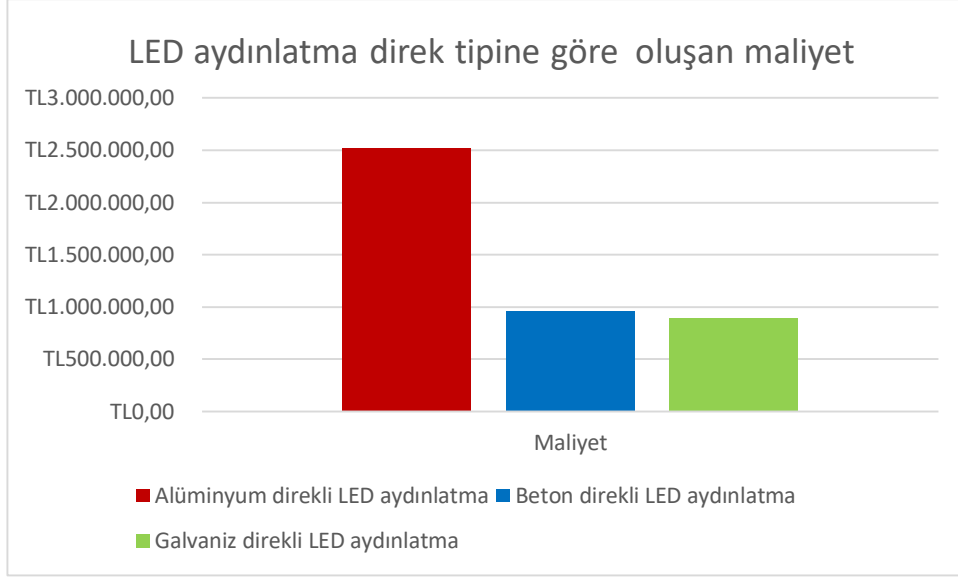
**Çizelge 3.8.** Yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba ile LED lambanın yıllık tüketim bedelleri

Kullanılan sistem	Çekilen güç (saatlik) (kW)	2018yılı Ağustos Dönemi 1kWh bedeli (TL)	Günlük enerji tüketim bedeli (TL) (11.5 saat)	Aylık enerji tüketim bedeli (TL)	Yıllık enerji tüketim bedeli (TL)
YBSBL ile aydınlatma	56,957	0,26033	170,5175848	5115,527454	61386,32945
LED aydınlatma	27,69	0,26033	82,89818355	2486,945507	29843,34608
YBSBL aydınlatma ile LED aydınlatma arasındaki fiyat farkı (TL)			Günlük enerji tüketim farkı (TL)	Aylık enerji tüketim farkı (TL)	Yıllık enerji tüketim farkı (TL)
			87,61939827	2628,581948	31542,98338

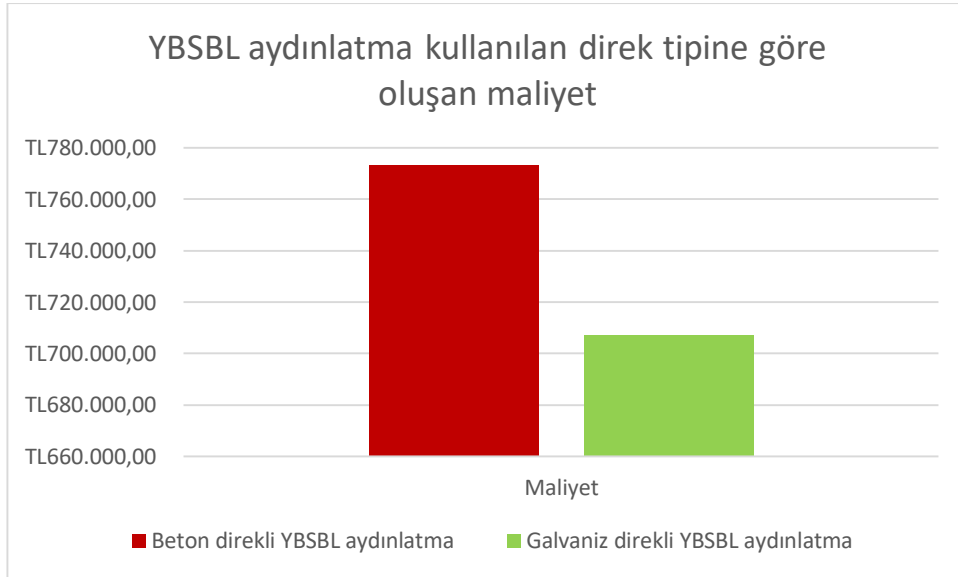
**Çizelge 3.9.** YBSB ile LED lambanın farklı direk tipine göre kullanıldığında oluşan maliyet farkı ve amorti süreleri

Aydınlatma tipleri	Maliyet farkı (TL)	Amorti süresi (yıl)
Beton direkli LED ile beton YBSBL maliyet farkı	185561,58	5,88
Galvaniz direkli LED- ile galvaniz direkli YBSBL maliyet farkı	185561,58	5,88
Alüminyum direkli LED İle beton direkli YBSBL maliyet farkı	1740635,05	55,18
Alüminyum direkli LED ile galvaniz direkli YBSBL maliyet farkı	1807092,77	57,29

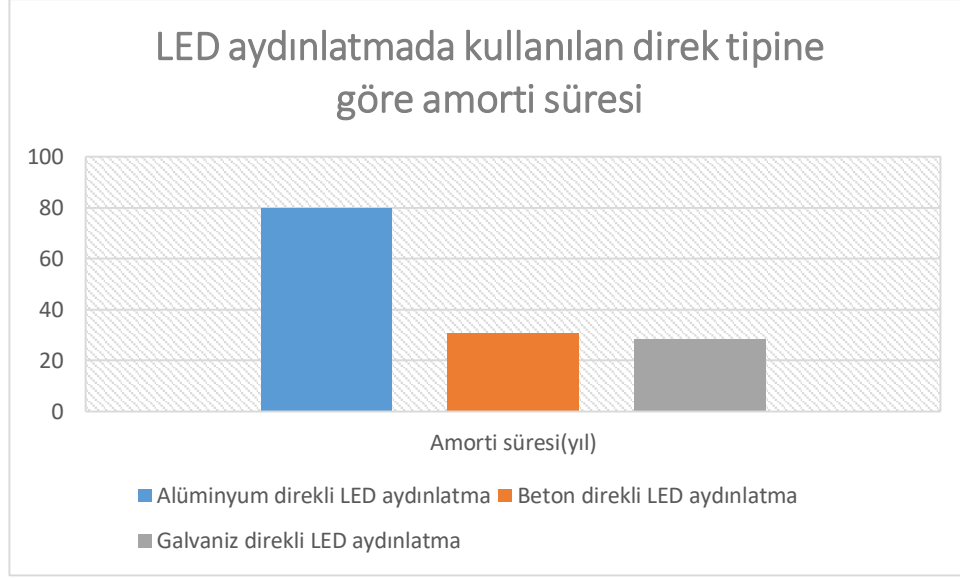
Çizelge 3.8'deki bilgilere verilere göre mevcut aydınlatma tesisatında YBSBL yerine sıfırdan LED aydınlatma tesisatı yapıldığında, aydınlatmada 2018 yılı Ağustos Ayı verilerine göre yıllık enerji tüketim fark tutarı 31542,983 TL'dir. Bu tasarruf miktarı enerji birim fiyatının değişmesiyle değişebilir. Çizelge 3.3'teki bilgilere göre alüminyum direkli ve LED armatür ile oluşan maliyet 2513961,52 TL'dir. Çizelge 3.4'teki bilgilere göre Beton direkli ve YBSB armatür ile oluşan maliyet oluşan maliyet 773321,96 TL'dir. Çizelge 3.9'da görüldüğü gibi maliyet farkı 1740635,05 TL olup amorti süresi yaklaşık olarak 55 yıldır. Bu süre tüm sistemin dönüştürülmesi durumunda oluşacak maliyete göre hesaplandı. Şimdi de aydınlatma tesisinde sadece armatürün değişmesi durumunda amorti süresi çizelge 3.7'ye göre  $167149.6/31542.983 = 5$  yıl 2 ay süre almaktadır. Çizelge 3.9'a göre eğer aydınlatma sistemleri aynı tip direkler ile yapılırsa oluşacak maliyet farkı 185561,58 TL olup amorti süresi 5 yıl 11 aydır. Çizelge 3.9'a göre eğer Alüminyum direkli LED ile galvaniz direkli YBSBL aydınlatma yapılırsa oluşacak maliyet farkı 1807092,77 TL olup amorti süresi yaklaşık olarak 57'dir.



**Şekil 3.6.** LED aydınlatma direk tipine göre oluşan maliyet grafiği



**Şekil 3.7.** YBSBL aydınlatma direk tipine göre oluşan maliyet



**Şekil 3.8.** LED aydınlatmada kullanılan direk tipine göre amorti süresi

LED dönüşümü yapıldığında Şekil 3.6, Şekil 3.7 ve Şekil 3.8 grafiklerinde oluşan değerlere göz önünde bulundurulduğunda amorti süreleri kısalmaktadır.

- Eğer sistem komple dönüştürülecek ise beton veya galvaniz direk kullanılması gerekir. Amorti süresi 5 yıl 11 aydır.
- Eğer sistemde sadece armatür dönüşümü yapılacaksa bu aydınlatma projesi için amorti süresi 5 yıl 2 ay süreyi bulmaktadır. Bu durumda da yüksek basınçlı sodyum buharlı lambanın ekonomik ömrü dikkate alınmalıdır.
- Eğer sistemde mevcut durumda bir aydınlatma tesisatı varsa ekonomik ömrünü tamamlaması beklenmelidir. Sıfırdan yapılan tesislerde LED kullanımına geçilmesi gerekir.

Yukarıda belirtilen 3 durumda farklı amorti süreleri çıkmıştır. Bu nedenle LED dönüşümü yapılacak bölgeler hassasiyetle seçilmelidir. Başta sadece LED armatürün değişeceği alanlar seçilmelidir. Eğer direk ve armatür değiştirilip LED dönüşüm yapılacaksa bunun da maliyeti çok fazladır. Eski direk yerlerine montaj edilmesi gerekir. Bu da beraberinde ankraj ve direk temel uyum problem getirir. Eğer sistem tümüyle komple dönüştürülecek ise, zorunlu haller dışında bu yapılması uygun değildir. Çünkü maliyeti yeni tesisat yapmaktan daha fazladır.



#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde enerjide tasarrufa yönelik çalışmalar sürekli yapılarak ve yapılan çalışmalar revize edilerek dünya genelinde uygulanmaktadır. Yol aydınlatma tesisleri için de son yıllarda enerjiyi verimli kullanma gereksinimi doğmuştur. Yol aydınlatma tesisatlarında verimlilik ve tasarrufu arttırmak için en kolay yöntem olarak verimsiz olan armatürlerin daha verimli olanlarla değiştirilmesi düşünülebilir. Tabii bu aynı sistemle çalışan deşarj lambalar için geçerlidir. Fakat yeni teknolojik LED lambalar ile mevcut şebekedeki tüm aydınlatma parametreleri kıyaslanmaya ve özellikle direklerin statik hesapları yeniden yapılmalıdır.

Yol aydınlatmasının temel kriterlerine uygun olarak, sürücülere konfor sağlamalı ve trafikte güvenlik şartlarını sağlamalıdır. Bunun için tesis edilen aydınlatma tesisleri, yol yüzeyinde belirlenen aydınlatma kriterlerini sağlamak zorundadır. Ülkemizde hâlihazırda yol aydınlatmasında kullanılan armatürlerin çoğu yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalardır. Yaklaşık 10 yıldır yeni nesil teknolojik lamba olarak adlandırılan LED lambalar da kullanılmaya başlandı. 2012 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nca LED lambalara geçiş ve kullanım şartlarına dair belgeler düzenlendi. Ancak uygulamalar hala netlik kazanamadı ve dağıtım şirketleri hala yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar kullanmaktadır. Dağıtım şirketleri 2020 yılı yatırım programlarına yeni yapılacak aydınlatma tesislerinde 1000 adet LED lamba kullanımına geçmeyi planlamaktadırlar. Ülkemiz genelinde 2021-2025 yılları arasında Elektrik Dağıtım Şirketleri yatırım programlarında kullanacaklardır. LED üretici firmaları ürettikleri LED armatürlerini test ve akreditelerini 2020 yılında TEDAŞ'a onaylatmaları gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında yol aydınlatmasında kullanılan lambalar 2. bölümde detaylı bir şekilde avantaj ve dezavantajları belirtilmiştir. 3. bölümde LED dönüşümü yapılan Muş İli İstasyon Caddesi pilot bölge olarak ele alınmış ve DIALux programıyla veriler alınmıştır. Alınan veriler incelendiğinde; Ayrıca yapılan kurulum maliyetleri ve amorti süreleri kıyaslandığında yapılan yol aydınlatması için çok iyi bir LED aydınlatma tasarımı yapılmadığında amorti süreleri olumsuz etkilenmektedir.

Muş İli İstasyon Caddesi'ne yapılan çalışmada 250 W yüksek basınçlı sodyum buharlı orta refüj aydınlatma ile 150 W LED'li karşılıklı düzende yapılan aydınlatmada bariz görünen farklar bulunmaktadır. 150 W LED'li aydınlatma ile M5 sınıfına ait yolun sadece araç yolu 1, araç yolu 2 ve orta refüj aydınlatılmıştır. Yaya yolları (kaldırımlar) için ekstradan 60 W LED'li aydınlatma yapılarak yol aydınlatması ihtiyacı sağlanmıştır. 250 W yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba ile yaya yolu 1, araç yolu 1, orta refüj, araç yolu 2 ve yaya yolu 2 sadece 1 adet

armatürle aydınlatılmıştır. Yaya ve araç yolları düzenekleri Ek1 ve Ek2’de DIALüx aydınlatma raporunda detaylı bir şekilde verilmiştir. 150 W LED’li armatür ile toplam 448 metre kare alan aydınlatılırken. 250 W yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba ile toplamda 576 metre kare alan aydınlatılmıştır. Bunlara ilaveten her iki aydınlatmada sağlanması gereken yol kalite büyüklükleri 150 W LED’li armatür ile sağlanamayan değerler bulunmaktadır. Bu değerler  $U_0$ : ortalama düzgünlük faktörü ve  $U_L$ : boyuna düzgünlük faktörleridir. Bu iki faktör de yol aydınlatma kalite büyüklüklerinde önemli iki parametredir. Bu iki değer de sürücülerin sürüş konforunu etkilemekte, fizyolojik ve psikolojik açıdan olumsuz etkilemektedir. Bu iki değer normal değeri sağlaması için direk arası mesafe azaltılmalı veya LED’li armatürün gücü artırılmalıdır. Bu çözüm yolu da maliyeti artırmaktadır. Karşılaştırılan diğer yol aydınlatma kalite büyüklükleri EK1 ve EK2’de DIALüx aydınlatma raporlarında detaylandırılmıştır. Yapılan çalışma sonuçları iyi bir tasarım yapılmadığında aydınlatma sistemleri verimsiz olmaktadır. LED lambaların ömürleri ortalama 12-15 yıl olarak düşünüldüğünde bu süre zarfını aşacak dönüşümler kesinlikle yapılmamalıdır. Ayrıca yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların ortalama kullanım süresi 5 yıldır. Bu değerler baz alınmalıdır. Aydınlatma sistemlerinde dönüşüm yapılacaksa, aydınlatma sisteminde sadece ekonomik ömrünü tamamlayan armatürler seçilmelidir. Aksi halde aydınlatma tesisatını besleyen kabloları, direkler LED dönüşüm için değiştirilmemelidir. Bütün bunlar kurulum maliyetini artırmaktadır. Yeni yapılacak LED aydınlatma tesisatları içinde uygun değer tasarım yapılmalıdır. Aydınlatma amacının dışına çıkılmamalıdır. Ayrıca yol aydınlatmasında kullanılan alüminyumdan yapılan direklerinin maliyeti çok fazladır. Mümkün oldukça orta refüj sistemi seçilmelidir. Direklere eklemler ve logolar azaltılmalıdır. Ayrıca belediyelerin kullandığı tüm direklerin TEDAŞ tarafından tip projeleri olmalıdır. Maliyeti artıran tasarımlardan kaçınılmalıdır. Kurulum maliyeti sadece lamba düzeyinde hesaplanmamalıdır. Aydınlatma sisteminin tümü göz önünde bulundurularak keşifleri yapılmalıdır. Yapılan keşiflere göre sonuçları değerlendirilmelidir.

## 5. KAYNAKLAR

- [1] Onaygil S, 2008. İTÜ Elektrik Mühendisliği Lisans Programı Dış Aydınlatma Dersi Notları <http://atlas.cc.itu.edu.tr/~onaygil>.
- [2] Onaygil S, 2016. Aydınlatmada Planlama ve Yönetimin Önemi Semineri. 2. Oturum, Gaziantep.
- [3] <https://docplayer.biz.tr/18232237-Yol-aydinlatma-sistemlerinde-aydinlatma-siniflarinin-belirlenmesi.html> (Erişim Tarihi:11.02.2020)
- [4] <https://docplayer.biz.tr/8045422-Aydinlatma-teknikleri.html> (Erişim Tarihi:11.02.2020)
- [5] Çoban K, 2010. Aydınlatma Elemanlarının Verimliliği ve Enerji Kalitesi Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [6] [https://em.erciyes.edu.tr/adogan/aydinlatma\\_slayt.pdf](https://em.erciyes.edu.tr/adogan/aydinlatma_slayt.pdf) (Erişim Tarihi: 11.02.2020)
- [7] [http://www.megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf](http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf) (Erişim Tarihi: 11.02.20)
- [8] [http://www.emo.org.tr/ekler/897a835425744fd\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/897a835425744fd_ek.pdf) (Erişim Tarihi: 11.02.2020)
- [9] Genel Aydınlatma Yönetmeliği 2013. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
- [10] Yavuz C, 2004. Şehir Aydınlatmacılığı, Işık Kirliliği ve Aydınlatmada Enerji Verimliliği, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [11] Kılıç A, 2013. Kentsel Dış Mekanlarda LED Aydınlatma Sistemlerinin Değerlendirilmesi Üzerine Örnek Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [12] Tayyebghasemi P, 2016. Klasik ve Yeni Nesil Aydınlatma Elemanlarının Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [13] [http://www.emo.org.tr/ekler/1afdb12a5ec4a6b\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/1afdb12a5ec4a6b_ek.pdf) (Erişim Tarihi: 11.02.2020)
- [14] Toy Ö, 2015. LED Tabanlı Yol Aydınlatma Armatürleri için Optik Tasarım, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [15] <https://docplayer.biz.tr/104769582-Aydinlatma-el-kitabi.html> (Erişim Tarihi: 11.02.2020)
- [16] EMTA A.Ş., 1988. Yol Aydınlatma Teknikleri Semineri, EMTA Yayınevi, Ankara.
- [17] Onaygil S, 2015. Aydınlatmada Enerji Verimliliği LED’li Yol Aydınlatması Uygulamaları, Güneydoğu Enerji Forumu, 7 Kasım 2015, Gaziantep
- [18] [http://www.emo.org.tr/ekler/da04049a062f5ad\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/da04049a062f5ad_ek.pdf) (Erişim Tarihi: 12.02.2020)
- [19] Büyükkımacı B, 2008. Yol Aydınlatma Otomasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.

- [20] CIE Pub. 115, 1995. Recommendations for the Ligthing of Roads for Motor and Pedestarian Traffic, International Commission on Ilumination, Viyana.
- [21] [http://www.emo.org.tr/ekler/9290c1d84c18de4\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/9290c1d84c18de4_ek.pdf) (Erişim Tarihi: 12.02.2020)
- [22] Ongun A, 2007. Yol Aydınlatma Tesisatlarının Tasarımlarında Optimum Çözüm Kriterlerinin Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [23] Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi, 2008. Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş., Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı.
- [24] LED Işık Kaynaklı Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi, Revize Mart 2019. Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş., Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı.
- [25] CIE Pub. 180, 2007. Road Transport Lighting For Develop Countries, Vienna, AUSTRIA.
- [26] Özkaya M, 1994. Aydınlatma Tekniđi, Birsen Yayınevi, İstanbul, s:291.
- [27] Pobert S, 2003. Lighting Control: Technology and Applications, Focalpress, Italy.
- [28] Yüksek Basınçlı Civa Buharlı ve Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lambalar Teknik Şartnamesi, 2008. Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş., Malzeme Yönetimi Dairesi Başkanlığı.
- [29] [https://web.itu.edu.tr/erdeml/LED\\_Demo.pdf](https://web.itu.edu.tr/erdeml/LED_Demo.pdf) (Erişim Tarihi: 12.02.2020)
- [30] <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Bakanlik-Duyurulari/Genel-Aydinlatma-Kapsaminda-LED-Armaturlerin-Kullanimina-Iliskin-Usul-ve-Esaslar> (Erişim Tarihi: 12.02.2020)
- [31] CIE Pub. 140, 2000. Road Lighting Calculations, International Comission on Ilumination, Viyana.
- [32] <https://moduled.com.tr/led-aydinlatma-nedir/> (Erişim Tarihi: 12.02.2020)
- [33] Onaygil S, 2005. Tedaş Genel Müdürlüğü Meslek İçi Eğitim Semineri, TEDAŞ Yayınevi Ankara, s:55.
- [34] Rüstemli S, 2018. Tünel Aydınlatmasında Led Armatür Kullanımı <https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed/issue/39163/399649> (Erişim Tarihi: 28.06.2020)

## **6. EKLER**

**EK 1.** Muş İli İstasyon Caddesi 150 Watt LED Aydınlatma

**EK 2.** Muş İli İstasyon Caddesi 250 Watt YBSBL Aydınlatma

## ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Muş merkeze bağlı Üçsirt Köyü'nde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Muş'ta tamamladı. 2013 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2014-2015 yılları arasında yaklaşık 15 ay Kars'ta ARAS EDAŞ'ta çalıştım. 2015 yılının mayıs ayından itibaren VANGÖLÜ EDAŞ Muş İl Müdürlüğü'nde Tesis ve Yatırım Bölümünde proje tasarlama ve tesis işlerinin kontrollüğünü yapmaktayım. 2017-2018 Eğitim Öğretim yılı Sonbahar Yarıyılında Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı.

Yüksel DEMİR