



**ERZURUM İLİ YOL AYDINLATMA
ARMATÜRLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ
VE ETKİN AYDINLATMA YÖNTEMLERİNİN
FİZİKSEL DEĞERLENDİRİLMESİ**

Fatmanur MUTLU

**Danışman: Prof. Dr. Mutlu KUNDAKÇI
Yüksek Lisans Tezi
Fizik Ana Bilim Dalı
2025**

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANA BİLİM DALI

**ERZURUM İLİ YOL AYDINLATMA ARMATÜRLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI
ANALİZİ VE ETKİN AYDINLATMA YÖNTEMLERİNİN FİZİKSEL
İNCELENMESİ**

(Comparative Analysis of Road Lighting Armatures in City of Erzurum and Physical
Evaluation of Effective Lighting Methods)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatmanur MUTLU

Danışman: Prof. Dr. Mutlu KUNDAKÇI
İkinci Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Erdal TURGUT

Erzurum
Eylül, 2025



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Graduate School of Natural and
Applied Sciences

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü
TEZ KABUL VE ONAY TUTANAĞI

ERZURUM İLİ YOL AYDINLATMA LAMBALARININ KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ
VE ETKİN AYDINLATMA YÖNTEMLERİNİN FİZİKSEL OLARAK
DEĞERLENDİRİLMESİ

Prof.Dr. Mutlu KUNDAKÇI danışmanlığında, Fatmanur MUTLU tarafından hazırlanan bu çalışma, 18/08/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı Fizik Bilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Prof. Dr. Muhammet YILDIRIM <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Danışman:	Prof. Dr. Mutlu KUNDAKÇI <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Dr. Öğr. Üyesi Mustafa YAZICI <i>Erzurum Teknik Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof.Dr. Alper NUHOĞLU

Enstitü Müdürü

Aslı Islak İmzalıdır

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek lisans Tezi olarak Prof. Dr. Mutlu KUNDAKÇI danışmanlığında sunulan “*Erzurum İli Yol Aydınlatma Armatürlerinin Karşılaştırmalı Analizi Ve Etkin Aydınlatma Yöntemlerinin Fiziksel İncelenmesi*” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	6	30
Kuramsal Temeller	9	30
Materyal ve Yöntem	10	35
Bulgular ve Tartışma	6	20
Sonuç ve Öneriler	4	20
Tezin Geneli	12	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)
Fatmanur MUTLU
5.8.2025
İmza: Aslı Islak İmzalıdır

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Mutlu KUNDAKÇI
5.8.2025
İmza: Aslı Islak İmzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma, mezunu olmaktan gurur duyduğum Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü'nde hazırlanmıştır. Lisans mezuniyetimin üzerinden uzun yıllar geçmiş olmasına rağmen beni tez yazmaya cesaretlendiren ve çalışma sürecime desteklerini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Mutlu KUNDAKÇI ve Dr. Öğretim Üyesi Erdal TURGUT hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez yazım süreci, bir çok araştırma yapmayı gerektirdiğinden zaman, öz veri ve sabır harmanlaması olarak tarif edilebilir. Bu zorlu süreçte göstermiş oldukları destek ve teşviklerden dolayı aileme teşekkür ederim.

Fatmanur MUTLU

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ERZURUM İLİ YOL AYDINLATMA ARMATÜRLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ VE ETKİN AYDINLATMA YÖNTEMLERİNİN FİZİKSEL İNCELENMESİ

Fatmanur MUTLU

Danışman: Prof. Dr. Mutlu KUNDAKÇI

İkinci Tez Danışmanı: Dr. Öğretim Üyesi Erdal TURGUT

Amaç: Bu çalışmada Erzurum İli Terminal Caddesi yol aydınlatma armatürlerinin karşılaştırmalı analizi ve etkin aydınlatma yöntemlerinin fiziksel olarak değerlendirilmesi yapılmıştır. Önemi her geçen gün artan elektrik enerjisinin en büyük kullanım alanlarından biri olan dış aydınlatmada ana hedef enerji verimliliğini artırmak, enerji maliyetlerini düşürmek ve çevresel etkilerini azaltmaktır.. Dış aydınlatmadan kasıt şehirlerin sokakları, parklar, bahçeler, yollar, otoyollar, tarihi yapılar gibi kamuya açık kapalı olmayan alanların aydınlatılmasıdır. Dış aydınlatmanın ana hedefi doğrultusunda farklı armatür çeşitlerinin verimli aydınlatmaya etkisi bu çalışma bünyesinde incelenmektedir.

Yöntem: Bu çalışmada yol aydınlatma armatürlerinin, yol aydınlatma sınıfı ve kriterlerine bağlı olarak karşılaştırmalı analizi için Erzurum ili Terminal Caddesi seçilmiştir. Çalışma alanı olarak seçmiş olduğumuz Terminal Caddesi'nin belediye onaylı imar planı alınarak yolun fiziksel özellikleri, yol aydınlatma sınıf- kriterleri, Yol Aydınlatmaları Teknik Şartnamesinde belirtilen değerler Dialux aydınlatma programına girilerek caddede kullanılabilecek azami güçteki aydınlatma armatürleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu azami güçteki aydınlatma armatürleri, sodyum buharlı aydınlatma armatürü ve LED aydınlatma armatürü için aynı yol üzerinde ayrı ayrı tespit edilmiştir. Ardından Terminal Caddesi üzerinde sodyum buharlı ve LED aydınlatma armatürleri; 35 metre aralıklarla, 20 adet, 12 metre uzunluğunda galvaniz poligon aydınlatma direği kullanılmak suretiyle b-PRO programında proje çizimi yapılarak teknik hesaplar; güçleri, güç tasarruf oranları, gerilim düşümü, aydınlatma alanı, aydınlatma tesis maliyeti gibi kriterler baz alınarak karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalarda CIE (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu), Avrupa Birliği Standartlar (CEN) ve TEDAŞ'ın belirlemiş olduğu yol aydınlatma standartları göz önüne alınmıştır.

Bulgular: Programda yapılan çizimlerden sonra sodyum buharlı aydınlatma armatürü ile LED aydınlatma armatürü için yapılan teknik hesaplamalar; güçleri, güç tasarruf oranları, gerilim düşümü, aydınlatma alanı, aydınlatma tesis maliyeti gibi kriterler baz alınarak yapılan karşılaştırmalar neticesinde elde edilen bulgular şöyledir:

Armatür güçleri, güç tasarruf oranı, gerilim düşümü hesaplarında LED armatürün daha avantajlı olduğu ancak aydınlatma tesis maliyeti hesabı, aydınlatılan alan hesabında sodyum buharlı armatürün daha avantajlı olduğu anlaşılmıştır.

Sonuç: Sodyum Buharlı armatür ile LED armatürün diğer avantajları ve dezavantajları göz önüne alındığında dezavantaj oranları ihmal edilebilir düzeydedir. Yapılan değerlendirmeler neticesinde tesislerimizde LED armatürlerin kullanımının avantajlı olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Aydınlatma Armatürü, LED, B-Pro Programı, Dialux Aydınlatma Programı

Ağustos 2025, 79 sayfa

ABSTRACT

MASTER'S THESIS

COMPARATIVE ANALYSIS OF ROAD LIGHTING FIXTURES IN ERZURUM PROVINCE AND PHYSICAL EXAMINATION OF EFFECTIVE LIGHTING METHODS

Fatmanur MUTLU

Supervisor: Prof. Dr. Mutlu KUNDAKÇI

Co-Supervisor: Asst. Prof. Dr. Erdal TURGUT

Purpose: In this study, a comparative analysis of road lighting fixtures on Terminal Street in Erzurum Province and the physical evaluation of effective lighting methods were carried out. In outdoor lighting, which is one of the largest areas of electricity consumption whose importance is increasing day by day, the main objectives are to improve energy efficiency, reduce energy costs, and minimize environmental impacts. Outdoor lighting refers to the illumination of public open areas such as city streets, parks, gardens, roads, highways, and historical structures. Within the scope of these objectives, this study investigates the effect of different types of fixtures on efficient lighting.

Method: For the comparative analysis of road lighting fixtures based on road lighting classes and criteria, Terminal Street in Erzurum Province was selected. Using the municipality-approved zoning plan of Terminal Street, the road's physical characteristics, road lighting class and criteria, and the values specified in the Road Lighting Technical Specification were entered into the Dialux lighting program to calculate the maximum power of lighting fixtures that could be used on the street. These maximum power lighting fixtures were determined separately for high-pressure sodium vapor luminaires and LED luminaires on the same road. Subsequently, project drawings were prepared in the b-PRO program using 20 galvanized polygonal lighting poles with a height of 12 meters, spaced at 35 meters along Terminal Street, for both sodium vapor and LED lighting fixtures. Technical calculations including fixture power, power saving rates, voltage drop, illuminated area, and installation cost were compared. In these comparisons, road lighting standards defined by the International Commission on Illumination (CIE), European Standards (CEN), and TEDAŞ were taken into account.

Findings: The technical calculations made for sodium vapor and LED luminaires after the program drawings were evaluated based on fixture power, power saving rate, voltage drop, illuminated area, and installation cost. The findings are as follows: LED luminaires proved more advantageous in terms of fixture power, power saving rates, and voltage drop; however, sodium vapor luminaires were found to be more advantageous in terms of installation cost and illuminated area.

Conclusion: When considering the overall advantages and disadvantages of sodium vapor and LED luminaires, the disadvantages are negligible. As a result of the evaluations, it is concluded that the use of LED luminaires in our facilities is advantageous.

Keywords: Lighting Fixture, LED (Light-Emitting Diode), B-Pro Software, DIALux Lighting Software

August 2025, 79 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
GİRİŞ.....	1
KURAMSAL TEMELLER.....	3
MATERYAL VE METOT.....	6
Araştırmanın Amacı.....	6
Kavramlarının Tanımları.....	6
Optik.....	6
Işık.....	6
Işık akısı	8
Işık şiddeti	9
Parlaklık	10
Fotometrik yasalar.....	10
Aydınlık düzeyi.....	12
Parıltı	13
Kamaşma.....	13
Kontrast duyarlılığı ve türleri.....	13
Etkinlik faktörü	15
Ortalama ve ekonomik ömür.....	16
Işık üretim esasına göre lambalar.....	19
Aydınlatma hesabı.....	40
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	48
Dialüx Programı ve Kullanım Amacı	50
b-PRO Programı ve Kullanım Amacı	57
b-PRO programı kanal hesabı	58

SONUÇLAR VE ÖNERİLER	60
KAYNAKLAR.....	64
ÖZGEÇMİŞ.....	65



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Dialux Programı Aydınlatma Hesabında Elde Edilen Armatür Güçleri	60
Tablo 2. b-PRO Programında Elde Edilen Trafo Güç Oranları.....	61
Tablo 3. b-PRO Programında Elde Edilen Gerilim Düşümü Değerleri	61
Tablo 4. Sodyum Buharlı Aydınlatma Tesis Maliyeti	62
Tablo 5. LED Aydınlatma Armatürlü Tesis Maliyeti.....	62



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Elektromanyetik spektrumu	7
Şekil 2. Elektromanyetik dalga yayılma yönleri	8
Şekil 3. Katı açı (uzay açısı).....	9
Şekil 4. Işık şiddeti	9
Şekil 5. Renk kontrastı	14
Şekil 6. Standart Enkandesan Lambalar (SEL)	19
Şekil 7. Kömür flamanlı enkadesan lambalar	21
Şekil 8. Normal enkandesan lambalar	23
Şekil 9. Tungsten halojen lambalar (THL).....	24
Şekil 10. Geissler tüpü	25
Şekil 11. Endüktif balast	26
Şekil 12. Elektronik balast	26
Şekil 13. 70-400 Watt ateşleyici (İgnitör)	27
Şekil 14. Civa buharlı lamba ve iç yapısı.....	28
Şekil 15. Metal halide lamba ve iç yapısı.....	29
Şekil 16. Seramik Deşarj Tüplü MHL'ler	30
Şekil 17. Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar.....	31
Şekil 18. ABSBL'nın ışık spektrumu görme hassasiyeti eğrisi	32
Şekil 19. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar	33
Şekil 20. YBSBL'nın ışık spektrumu.....	33
Şekil 21. Sodyum buharlı armatür.....	34
Şekil 22. Flüoresan lambaların iç yapısı	35
Şekil 23. Flüoresan lambalar	36
Şekil 24. Diyotun iç yapısı	37
Şekil 25. Diyotun akım-gerilim (I-V).....	38
Şekil 26. LED armatür	39
Şekil 27. Noktasal ışık kaynağı ile yatay düzlemin aydınlatılması	41
Şekil 28. Noktasal aydınlatma hesabında S ölçü alanı ve ΔS kısmi alanlar	41
Şekil 29. Eş aydınlık düzey diyagramı örneği.....	42
Şekil 30. Parıltı faktörü	43
Şekil 31. Yol aydınlatma armatürleri yerleşim planı seçenekler	44

Şekil 32. Yol aydınlatma armatürleri yerleşim planı seçenekler	45
Şekil 33. Yol aydınlatması kriterleri	45
Şekil 34. TEDAŞ MYD’de geçen yol sınıfları.....	46
Şekil 35. Yol yüzey sınıfları.....	47
Şekil 36. Armatür sınıfları.....	47
Şekil 37. Terminal caddesi mesai çıkış görüntüsü	48
Şekil 38. Çalışma alanı google earth görüntüsü (Erzurum Terminal Caddesi).....	49
Şekil 39. Yüksek basınçlı sodyum buharlı ve LED armatürler	49
Şekil 40. Dialux programı yol ve ışıklık seçimi (YBSBL)	51
Şekil 41. Armatür konsol düzenekleri.....	53
Şekil 42. Galvaniz poligon çelik direkler.....	53
Şekil 43. Dialux şartname kıyas ekranı (YBSBL)	54
Şekil 44. Dialux programında ışık dağılım simülasyonu (YBSBL)	54
Şekil 45. Dialux programı yol ve ışıklık seçimi (LED)	55
Şekil 46. Dialux şartname kıyas ekranı (LED).....	56
Şekil 47. Dialux programında ışık dağılım simülasyonu (LED).....	56
Şekil 48. İmar Planı üzerine B-pro çalışma alanı.....	57
Şekil 49. B-Pro direk ve armatür bilgisi girilen proje ekran görüntüsü	58
Şekil 50. B-pro aydınlatma kablosu yeraltı kanal bilgisi	59

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

D	: Noktalar Arası Boyuna Mesafe (m)
E	: Aydınlık Düzeyi (lx)
F	: Enerji Akısı
H	: Armatürün Yoldan Yüksekliği
Hz	: Hertz
I	: Akım
I	: Işık Şiddeti
K	: Kelvin
K	: Kontrast Duyarlılığı
L	: Parıltı (cd/m ²)
Ma	: Mili Amper
η	: Etkinlik Faktörü
N	: Hesap Noktası Sayısı
P	: Aktif Güç
R	: Flaman Direnci
Ra	: Renksel geriverim
S	: Armatürler Arasındaki Mesafe (m)
V	: Gerilim
W	: Watt
Γ	: Düşey Dikme ile Gelen Işın Arasındaki Aç
Ω	: Katı Aç
Φ	: Işık Akısı (lm)
KO	: Enerji Akısının Fotometrik Eşdeğeri
Lort	: Ortalama Parıltı Düzeyi
UL	: Boyuna Parıltı Düzgünlüğü
UO	: Ortalama Parıltı Düzgünlüğü

Kısaltmalar

ABSBL	: Alçak Basıncılı Sodyum Buharlı Lamba
AC	: Alternating Current (Alternatif Akım)
ARAS EDAŞ	: Aras Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi

BF	: Bakım Faktörü
CEN	: The European Committee for Standardization (Avrupa Birliği
CERN	: Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi
CFL	: Kompakt Floresan
CIE	: International Commission on Illumination (Uluslararası Aydınlatma
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
DIALüx	: Aydınlatma Hesaplarının Yapıldığı Program
EN	: European Norm (Avrupa Birliği Standardı)
FL	: Flüoresan Lambalar
HID	: Yüksek Yoğunluklu Deşarj Lambaları
HPS	: Yüksek Basıncılı Sodyum Buharlı Lamba
IP	: International Protection (Koruma Sınıfı)
LED	: Light Emiting Diode (Işık Yayan Diyot)
MHL	: Metal Halide Lambalar
MYD	: Malzeme Yönetim Dairesi
NM	: Nano Metre
PFC	: Power Factor Correction (Güç Faktörünü Düzeltme) Standardizasyon
	Komitesi)
TEDAŞ	: Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
THL	: Tungsten Halojen Lambalar
TS	: Türk Standardı
UV	: Ultraviyole
Wh	: Watt Saat
YBCBL	: Yüksek Basıncılı Civa Buharlı Lamba
YBSBL	: Yüksek Basıncılı Sodyum Buharlı Lamba

GİRİŞ

Aydınlatma, önemi her geçen gün artan elektrik enerjisinin en büyük kullanım alanlarından biridir. Temelde ışığın kullanım alanlarını, ölçüm standartlarını, üretim ve dağıtım unsurlarını, insan bünyesindeki etkilerini de baz alarak inceleyen Aydınlatma geçmişten günümüze kat ettiği mesafelerle 1879 yılında Edison'un icat ettiği enkandesan (kızgın telli) lambanın ihtiva ettiğinden çok daha fazlasını vadetmektedir. Günümüzde aydınlatmadan sadece mühendislik alanını ilgilendiren işlevsellik ve ekonomiklik gibi teknik özellikler değil estetiklik de beklenmektedir. Evlerden iş yerlerine, sokaklardan alışveriş merkezlerine kadar akla gelebilecek her yerde elektrik enerjisiyle sağlanan aydınlatma, bireylerin göz sağlığından başlayarak kentsel düzen ve toplumsal güvenliğe kadar zerreden bütüne her kademedede kullanım alanına sahiptir. Böylece aydınlatma insanların günlük yaşamını kolaylaştırır ve yaşam kalitesini artırır.

Flüoresan lambalar, aydınlatma teknolojisinin evriminde çok önemli iki dönüm noktasından biridir. 1930'larda, Thomas Edison tarafından kurulmuş elektirik dağıtım şirketi General Electric (GE), fosfor kaplamalı lambalar geliştirerek UV ışığı görünür ışığa çevirmeyi başardı. 1938 yılında flüoresan lamba, ilk kez ABD'de New York Dünya Fuarında tanıtıldı. 1940-50'lerde artık ofislerde, okullarda ve fabrikalarda yaygın olarak kullanılmaktaydı. 2000'lerde ise kompakt flüoresan lambalar (CFL), ev tipi akkor lambalara alternatif olarak popüler oldu.

Aydınlatma teknoloji evriminin ikinci dönüm noktası olan LED, 1962 yılında Nick Holonyak Jr. tarafından, General Electric'te çalışırken ancak kırmızı ışık yayabilecek şekilde icat edilmiştir. Bu, modern LED teknolojisinin başlangıcı sayılır. 1970'ler-1980'lerde Sarı ve yeşil LED'ler geliştirildi ve genellikle elektronik göstergelerde kullanıldı. 1990'larda Japon bilim insanı Shuji Nakamura mavi LED'i geliştirerek Beyaz ışık devrimini gerçekleştirdi. 2014 yılında Nakamura ve ekibi, mavi LED geliştirmesiyle Nobel Fizik Ödülü kazandı. Bu gelişmeler sayesinde LED'in kırmızı, yeşil ve mavi kombinasyonlarıyla beyaz ışık üretmek mümkün oldu. 2000'lerde ise yüksek güçlü LED'ler geliştirildi böylece LED'ler genel aydınlatmada kullanılabilir hale geldi.

Genel anlamda aydınlatma; amacı, ışık kökeni ve aydınlatılan yer bakımından incelenmektedir. Amacı bakımından aydınlatma: fizyolojik aydınlatma, dekoratif aydınlatma, dekoratif fizyolojik aydınlatma, dikkati çeken aydınlatmadır. Işık kökeni bakımından

aydınlatma: doğal aydınlatma, suni aydınlatmadır. Aydınlatılan yer bakımından aydınlatma ise iç aydınlatma ve dış aydınlatma olarak ikiye ayrılmaktadır. Çalışmanın konusu olan sokak aydınlatmaları; amaç bakımından dekoratif fizyolojik, ışık kökeni bakımından suni ve aydınlatılan yer bakımından dış aydınlatma olma özelliğine sahiptir.

Bu çalışmada CIE (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu),Avrupa Birliği Standartlar (CEN) ve TEDAŞ'ın belirlemiş olduğu yol aydınlatma standartlarına göre Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Armatürler ile LED (Light-Emitting Diode - Işık Yayan Diyot) armatürlerinin yol sınıflarına göre (M1, M2, M3, M4, M6) DIALÜX aydınlatma programında hesaplanması ve etkin aydınlatma yöntemlerinin fiziksel olarak değerlendirilmesi yapılacaktır.



KURAMSAL TEMELLER

İnsan, dünyaya gözlerini açtığında ilk olarak ışık ile karşılaşır ve ışık belirli dalga boyunda nesnelerin ayırt edilmesini sağlar. Temelde ışık, dalga şeklinde yayılan parçacık etkili göze tesir eden özel bir enerji olarak tanımlanmaktadır. Fiziğin bölümlerinden olan optik; ışığın özelliklerini, madde ile etkileşimini ışığın yayınlanma ve yayılma kanunlarıyla her yönden incelemektedir. Işık şiddetinin ve ışık akılarının ölçen aletlere fotometre denmektedir. Işın enerji akısı, birim zamandan belirli bir yüzeyden geçen enerjidir. Birimi lümen (Lm)'dir (Goca, 1993).

Işığın yapısını incelemek için öne çıkan teorilerden ikisi Dalga Teorisi Ve Foton Teorisi'dir. Bu teoriler birbirini tamamlamaktadır. Dalga teorine göre yayılma doğrultusuna dik bir düzlemde ani değerleri periyodik olarak değişen biri diğerine dik ve oranları sabit olan iki vektörden oluşur. Vektörlerden biri E elektrik alan vektörü diğeri de H manyetik alan vektörüdür. Elektromanyetik dalgalar dalga boyu ve frekansına göre geniş bir alanı kaplamaktadır. Dalgalar, dalga boyuna göre sıralandığı zaman spektrum (tayf) elde edilir. Bu spektrumda 380-780 nm dalga boyuna sahip radyasyonlar görülür ve bu radyasyonlar ışık olarak nitelendirilir. Dalga boyuna göre ışımlar neticesinde renkler oluşur. Görülebilen en küçük dalga boyu radyasyonları mor renge en büyük dalga boyu ışımları ise kırmızı renge karşılık gelir (Özkaya ve Tüfekçi, 1994). Foton teorisi, ışığın parçacıklar(fotonlar) şeklinde yayıldığını ve bu fotonların belirli enerji paketleri taşıdığını ifade eden bir teoridir. Bu teori klasik dalga teorisinin açıklayamadığı bazı deneysel bulguları açıklamak için geliştirilmiştir. Özellikle kuantum fiziğinin temel taşlarından biridir.

Optiğin inceleme alanı olan ışık, modern hayatın vazgeçilmez unsuru olan aydınlatmanın temel ögesidir. Aydınlatma ise hayatın olağan akışında en etkin olarak yol aydınlatmalarında karşımıza çıkmaktadır. İşlevsel olarak yol aydınlatmaları trafik güvenliğinin sağlanması, gece aydınlatmaları, görüş mesafelerinin düzenlenmesi gibi pek çok yönde faydaya hizmet etmektedir.

Elektrik enerjisinin tüketiminde yol aydınlatmalarında kullanılan armatürlerin türü önem arz etmektedir. Bu bağlamda, sodyum buharlı armatürler ve LED armatürler, günümüzde yaygın olarak kullanılan iki farklı aydınlatma teknolojisi olarak öne çıkmaktadır. Her iki teknoloji de farklı avantajlar ve dezavantajlar barındırmakta olup, kullanım alanlarına göre performansları değişiklik göstermektedir (Anonim, 2025c). Kullanılan armatürün türüne göre

lambanın ömrü, yaydığı ışık kalitesi, aydınlanma alanı ve kullandığı elektrik enerjisi miktarı farklılık göstermektedir.

Yapılan çalışmalarda 250W Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı (YBSB) Armatür ile 153 W LED armatür aynı şartlar altında enerji tasarrufu bazında karşılaştırılmış olup %49,5 oranında LED armatürün daha az enerji harcadığı görülmüştür. Kullanılan armatürlerin kullanım alanlarına göre gösterdikleri performans farklılıkları bariz bir şekilde gözlemlenebilmektedir (Kaymaz, 2015). Yine yapılan başka bir akademik çalışmada yüksek basınçlı sodyum buharlı 250 watt armatür ile 150 watt armatürün enerji tüketim oranları karşılaştırılmış ve 150 watt LED armatürün % 51,38 oranında daha tasarruflu olduğu hesaplanmıştır. Kurulum Maliyeti, TEDAŞ birim fiyatı ile karşılaştırılarak LED aydınlatma kurulum maliyetinin yüksek basınçlı sodyum buharlı aydınlatma kurulumuna göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Sistemin Amorti Süresi ise tesislerin yüksek basınçlı sodyum buharlı armatürlerin yerine LED aydınlatma tesisatı yapıldığında yaklaşık olarak 57 yıl olarak hesaplanmıştır (Demir, 2020).

Yol aydınlatma teknolojilerindeki gelişmeler, özellikle enerji verimliliği, çevresel etkiler ve kullanıcı konforu açısından önemli değişikliklere yol açmıştır. Yol aydınlatmaları içinde daha az enerji tüketen, uzun ömürlü ve bakım masrafı az olan armatür arayışını sürdürürken elektronik programlama ile bir üst fikir oluşturulmuştur. Bu kapsamda belirli yazılım ile uzaktan kontrol sistemiyle yüksek basınçlı sodyum buharlı armatürler ile LED armatürlerin değişen yol şartlarına göre armatürün parıltı düzeyinin belirlenmiş kategorilerde değiştirilerek fazladan enerji kullanımı ve ışık kirliliğinin önlenmesi için laboratuvar ortamında çalışmalar yapılmıştır (Aslan, 2022).

Yol aydınlatma kalitesinin belirlenmesi için TEDAŞ'ın ilgili yönetmelik ve teknik şartnameleri ile karayolları yol sınıfları dikkate alınmış ve bunlara göre standarda bağlanmıştır (Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi, 2008). Yol aydınlatmalarında yüksek basınçlı civa buharlı lambalar, metal halide lambalar, alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar, yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar, LED (ışık yayan diyot) lambalar süreç içerisinde kullanılmıştır. Civa buharlı armatürlerin insan sağlığı ve doğaya verdiği zararlardan dolayı aydınlatma tesislerimizde artık civa buharlı armatürler kullanılmamaktadır. Aydınlatma şebekelerimizin tamamına yakını yüksek basınçlı sodyum buharlı armatür ile aydınlatılmaktadır. Uzun ömürlü olmaları, güç tasarrufu sağlamaları gibi çeşitli avantajları nedeniyle dağıtım şirketlerinde LED armatürler tercih edilebilir hale gelmiştir. Enerji ve Tabii Kaynakları Bakanlığı tarafından kademeli olarak öncelikle pilot bölgeler seçilerek belirli sayıda armatür içeren projeler istenmiş ve daha sonrasında 2021 yılı itibarıyla TEDAŞ'ın talimatıyla

tüm yeni yol aydınlatma projeleri LED armatürlü olarak çizilip tesis edilmiştir (Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. 2020). Yeni aydınlatma tesislerinin tamamı LED armatürle ile projelendirilecekken mevcutta bulunan yüksek basınçlı sodyum buharlı armatür aydınlatma tesislerinde şebekenin tamamının değiştirilmesi maliyetli olacağından bu uygulama mevcuttaki tesisler için sadece ekonomik ömrünü tamamlayan ya da arızalanan armatürlerin değişimi ile sınırlı kalacaktır.

Uluslararası düzeyde, LED armatürlerin sodyum buharlı armatürlere göre %50-70 oranında enerji tasarrufu sağladığı görülmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı(IEA) ve çeşitli şehirlerin verilerine göre küresel çapta LED dönüşüm projeleri yıllık milyarlarca kilowatt/saat (kwh) enerji tasarrufu elde edilmektedir. Örneğin sadece ABD’de LED aydınlatmalarına geçişle yılda yaklaşık 40 milyar kwh’ye yakın tasarruf sağlanabilir. Bu da milyonlarca ton karbonmonoksit(CO₂) emisyonunu azaltır.

Ulusal düzeye baktığımızda ise Türkiye’de LED dönüşümün enerji tasarrufuna etkisi %40 ila %71 arasında değişmektedir. Örneğin Çerkezköy Organize Sanayi Bölgesi’nde (ÇOSB) yapılan dönüşümde cadde aydınlatmalarında %51,73, idari bina çevresinde ise %71,18 oranında enerji tasarrufu elde edilmiştir (Anonim, 2025d). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının verilerine göre 140 bin LED armatürün kurulumu ile yılda yaklaşık 82 milyon TL tasarruf sağlanmıştır (Anonim, 2025b). LED dönüşümü ile Türkiye genelinde yıllık yaklaşık 2.2 milyar kwh enerji tasarrufu sağlanabileceği bunun da yaklaşık 1 milyon konutun yıllık elektrik tüketimine denk geldiği hesaplanmaktadır (Anonim, 2025a).

MATERYAL VE METOT

Araştırmanın Amacı

Erzurum İli Terminal Caddesi yol aydınlatma armatürlerinin karşılaştırmalı analizi ve etkin aydınlatma yöntemlerinin fiziksel olarak değerlendirilmesidir.

Kavramlarının Tanımları

Optik

Fiziğin bölümlerinden biri olarak optik, ışığın davranışı ve özellikleri ile ilgilenen bir bilim dalıdır. Optik, ışığın (madde ile etkileşimi) nasıl yayıldığını, kırıldığını, yansıdığını ve diğer optik materyallerle nasıl etkileşime girdiğini inceleyerek, optik aletlerin tasarımını ve çalışma prensiplerini anlamaya odaklanır.

Geometrik optik açısından ışık,

Yansıma: Işığın bir yüzeyden geri yansımastır. Yansıma, düz bir yüzeyde ışığın açıları koruyarak yansıması prensibine dayanır.

Kırılma: Işığın bir ortamdan diğerine geçerken hızının değişmesi sonucu oluşan bükülme olayıdır. Bu, genellikle bir ortamdan diğerine geçerken ışığın yolu üzerindeki bir açının değişmesiyle meydana gelir.

Emilim: Madde, ışığı emebilir. Işık enerjisi, atomlar veya moleküller tarafından absorbe edilir ve bu da madde içinde ısınma veya kimyasal değişikliklere neden olabilir.

Geçirgenlik: Işık, bazı maddelerden geçebilir. Bu, şeffaf veya yarı saydam malzemelerde gözlemlenebilir.

Işık

Işık, dalga şeklinde yayılan, parçacık etkili olup, göze tesir eden özel bir enerji şeklidir. Foton ve dalga teorisiyle açıklanır ve iki teori birbirini tamamlar.

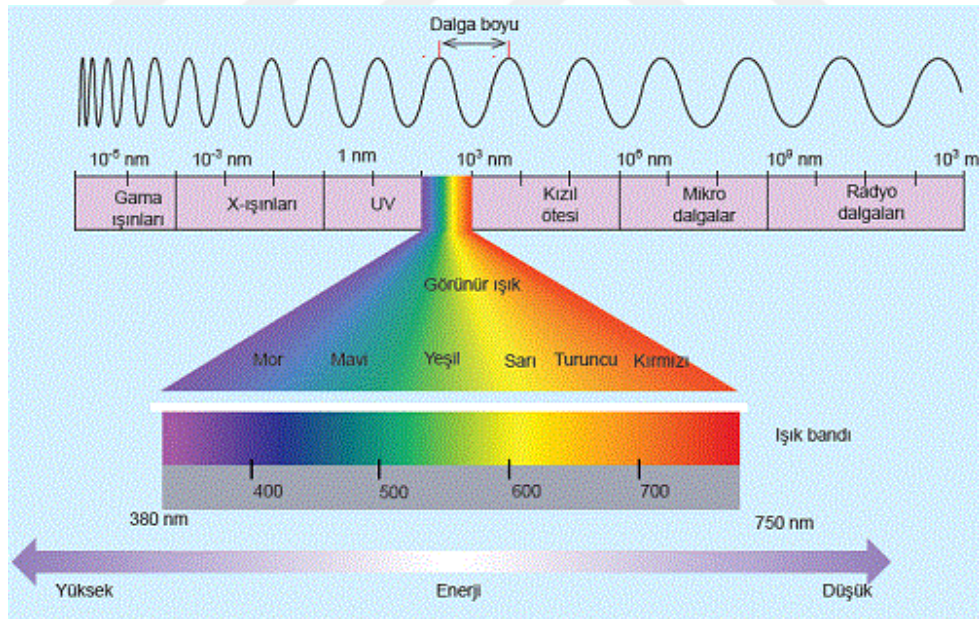
Newton, ışığın kaynaktan çıkan çok küçük ağırlıksız ve bir cins ortamda doğru yolla sabit hızla yayılan esnek küreciklerden (korpüskül) oluştuğunu belirtir. Newton bu tezini ışığın kırılması ve yansıması özelliğini beyaz ışığın ortamdan geçtikten sonra renklere ayrılması olayı ile açıklar. Renklerin ise korpüsküllerin boyutlarıyla ilgili olduğunu belirtir (Goca, 1993).

Işığın foton özelliği, ışığın temel parçacığı olan fotonun davranışını ifade eder. Fotonlar, elektromanyetik dalgaların enerji paketleridir. Işığın birçok özelliği, fotonların kuantum

mekaniği kurallarına tabi davranışlarına dayanır. Fotonlar, enerji taşıyan ve belirli bir frekansta (ve dolayısıyla dalga boyunda) bulunan kuantum parçacıklarıdır. Bu özellikleri, ışığın hem dalga hem de parçacık özelliklerini içerdiği dalga-parçacık ikili doğasını anlamamıza yardımcı olur.

Işığın dalga teorisi, ışığın dalga özelliklerini, dalga boyu, frekans ve genlik gibi özellikleriyle açıklayarak çok geniş bir bölgeyi kaplar. Bu teori, özellikle yansıma, kırılma ve girişim gibi fenomenleri açıklamada başarılıdır. Işık dalga boyuna göre sıralanırsa elektromanyetik spektrum (tayf) oluşur.

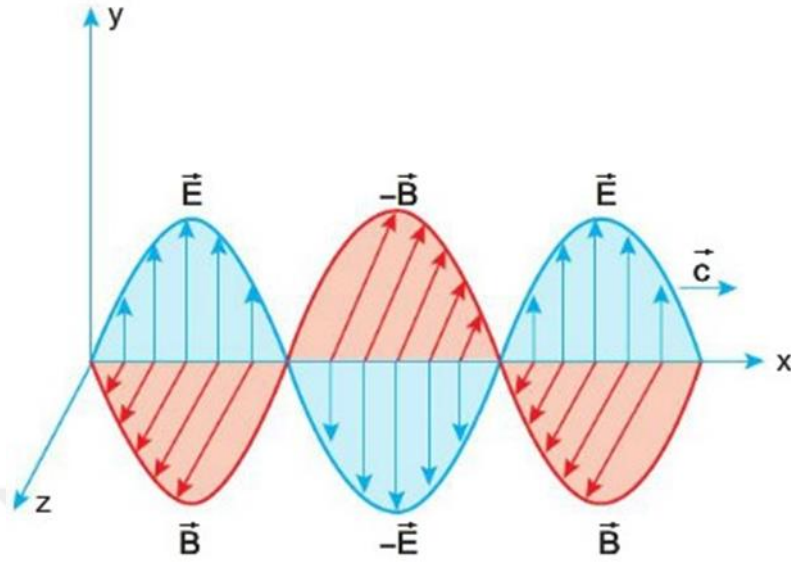
Görünür ışık, 380-780 nm aralığındaki sadece insan gözleri tarafından algılanabilen spektrum bölümünü kapsayan elektromanyetik dalgalardır. Görünür dalga bandı elektromanyetik dalga tayflarında çok dar bir aralığı işgal eder. Görünür ışık spektrumu, kırmızı, turuncu, sarı, yeşil, mavi ve mor gibi renkleri içerir. Bu renkler, dalga boylarının uzunluğuna göre sıralanmıştır. Kırmızı en uzun dalga boyuna, mor ise en kısa dalga boyuna sahiptir. Görülebilen spektrumun en küçük dalga boyu radyasyonları mor renge en büyük dalga boyu ışımaları ise kırmızı renge karşılık olurlar. 380-780 nm kadar sonsuz sayıda dalga boyu vardır. Mor renk ile kırmızı renk arasında sonsuz sayıda renk vardır (Goca, 1993).



Şekil 1. Elektromanyetik spektrumu

Işığın dalga teorisi, Elektromanyetik dalga yayılma doğrultusuna dik, bir düzlemde ani değerleri periyodik olarak değişen biri diğerine dik ve oranları sabit olan elektrik alanı vektörü (E) ve manyetik alan vektöründen (B) oluşur. E ve B vektörleri, dalganın C yayılma hızı vektörü ile birlikte bir dik üç yüzlü oluştururlar. E ve H vektörlerinin oluşturduğu düzlem, dalga

yüzeyine teğettir. Belirli renkteki ışıpta, elektrik alan vektörü yayılma doğrultusuna dik olan E ve C düzleminde zamana göre sinüs biçiminde değişir.



Şekil 2. Elektromanyetik dalg yayılma yönleri

Işık akısı

Bir ışık kaynağından yayılan toplam ışık enerjisinin ölçüsüdür. Lümen (lm) birimi ile ölçülür. Işık akısı, insan gözünün farklı dalga boylarındaki ışığı nasıl algıladığına dayanır ve bu nedenle özellikle aydınlatma endüstrisinde kullanılır. Bir lamba veya ışık kaynağının verimliliğini değerlendirmek için kullanılır. Yüksek ışık akısı, daha fazla ışığın yayıldığı ve daha parlak bir aydınlatma sağlandığı anlamına gelir. Işık enerjisi ile ışık akısı farklı şeyler olup, bu iki büyüklük birbirleriyle doğru orantılıdır. Işık akısı Φ (fi) ile gösterilir. Bir ışık kaynağının toplam ışık akısı uzayın çeşitli bölümlerine yayılan kısmi ışık akılarının toplamıdır. Işık akısı genel olarak düzgün yayılmaz ve uzayın farklı doğrultularında yoğunluğu eşit değildir. Işık şiddetini ve ışık akısını ölçen aletlere **fotometre** denir.

$$(\Phi = \Delta\Phi_1 + \Delta\Phi_2, \dots) \dots\dots\dots 1$$

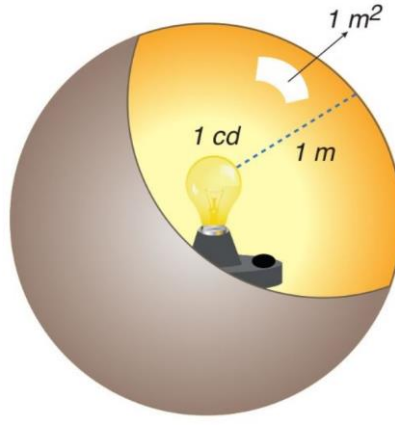
$$\Phi = KO.F.V\gamma \dots\dots\dots 2$$

KO enerji akısının fotometrik eşdeğeridir. (683 lm/W)

F enerji akısı (W) , $V\gamma$ gözün görüntüsel hassasiyeti (gözün radyasyonlara karşı spektral duyarlık derecesi)

$$\Omega = S_n / r^2$$

Katı Açı (Ω) , Bir kürenin yüzeyindeki bir bölgesinin alanının kürenin yarıçapının(r) karesine oranına eşittir. Birimi steradyandır.



Şekil 3. Katı açı (uzay açısı)

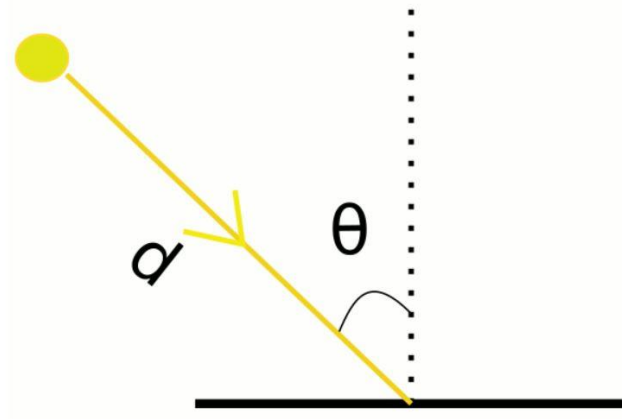
Kürenin iç yüzey alanı $4\pi r^2$ 'dir. Katı açı değeri $\Omega = S_n / r^2 = 4\pi r^2 / r^2 = 4\pi$ steradyandır.

Işık şiddeti

Optikte temel birim ışık şiddetidir. Işık şiddeti, noktasal bir ışık kaynağının belirli bir yönde yaydığı ışık miktarının bir ölçüsüdür ve belirli bir yönde birim zamanda birim açısal alan üzerine düşen ışık akısını ifade eder. Ölçü birimi candela (cd)'dir. Kandela, bir ışık kaynağının ne kadar parlak olduğu veya bir ışık kaynağının odaklanmış ışık gücünü değerlendirmek için kullanılır.

[$\Phi = I \cdot (4\pi)$:Küre için ışık akısıyla ışık şiddeti arasındaki bağıntı.].....3

Diğer optik büyüklük birimleri ışık şiddeti biriminin türevleridir. Işık şiddeti birimi ise mum'dur. Sıcaklığı 2046,6K(platinin erime sıcaklığı) olan mutlak siyah cismin birim alanından dik doğrultuda yansıyan ışık şiddetinin 1/60'idir.($K = C + 273,15$)



Şekil 4. Işık şiddeti

Parlaklık

Belirli doğrultudaki parlaklık, aynı doğrultuda birim görünen yüzeyden birim zamanda (yüzey kaynak ise yayınlanan, yansıtıcı ise yansıyan) birim katı içinden yayınlanan, ışın enerjisi akısına eşittir. Bir nesnenin veya bir yüzeyin gözle algılanan ışık yoğunluğunu ifade eder. Genellikle birim alan başına düşen ışık miktarı olarak düşünülür. Parlaklık, nesnelerin yüzey özellikleri, renkleri ve çevre ışık koşulları gibi faktörlere bağlı olarak değişebilir.

Başka bir ifadeyle belirli bir doğrultudaki parlaklık, kaynağın birim görünen yüzeyinin aynı doğrultuda yaydığı ışık şiddetinin değerine eşittir. Görünen yüzeyi, ışık veren (yayınlayan ya da yansıtan) yüzeyin ışık demeti eksenine dik doğrultuda bileşeni yani $d\vec{\omega} \cdot \cos\phi$ olarak tanımlayabiliriz. Aslında burada ışık veren yüzeyin kendisi değil, görünen alanını dikkate alınır. Genellikle kaynağın (aynı zamanda yansıtıcı yüzeyin) parlaklığı doğrultu ile ilgilidir. Fakat öyle kaynaklar (mesela güneş) vardır ki onlar için $B\phi$ katsayı büyüklüğü doğrultuya bağlı olmaz ve değeri sabittir. ($B\phi$; enerji veren yüzeyi temsil eden (karakterize eden) ϕ açısı ile ilgili olan katsayıdır.) Bu katsayıya yüzeyin ϕ doğrultusundaki parlaklığı denir.

Fotometrik yasalar

Fotometri, ışığın insan gözü tarafından algılanan parlaklığı ve aydınlatma gücünü ölçen bilim dalıdır. Bu kapsamda, fotometrik yasalar ışık kaynaklarından yayılan ışığın mekandaki dağılımını ve aydınlatma şiddetini belirleyen temel prensipleri ifade eder. Fotometrik yasalar ve cosinüs yasası ışık ve aydınlatma hesaplamalarında önemli bir yere sahiptir. Özellikle Lambert'in Cosinüs Yasası, yüzeye gelen ışığın şiddetinin açısal dağılımını belirlemek için kullanılır.

Lambert'in Cosinüs yasası (Aydınlanma Cosinüs yasası)

Lambert'in Cosinüs Yasası; bir yüzeye belirli bir açıyla gelen ışığın aydınlanma seviyesinin, ışığın geliş açısının cosinüsü ile orantılı olduğunu söyler.

Matematiksel olarak yüzeyde oluşan aydınlanma şu şekilde hesaplanır.

$$E = \frac{I}{r^2} \cos\theta \dots\dots\dots 4$$

E = Yüzeydeki aydınlanma (lüks, lx)

I = Noktasal ışık kaynağının ışık şiddeti (kandela, cd)

d = Işık kaynağı ile yüzey arasındaki mesafe (metre, m)

θ = Işık ışınlarının yüzeye normal (dikey) doğrultusuyla yaptığı açı

Cosinüs Yasasının Fotometri ile ilişkisi:

- Eğer ışık dik ($\theta = 0^\circ$) geliyorsa, $\cos(0^\circ) = 1$ olduğundan yüzeye maksimum aydınlanma düşer.
- Eğer ışık eğik ($\theta > 0^\circ$) geliyorsa, $\cos(\theta)$ değeri küçülür ve yüzeydeki aydınlanma azalır.
- Eğer ışık tam yatay ($\theta = 90^\circ$) gelirse, $\cos(90^\circ) = 0$ olur ve yüzey hiçbir ışık almaz.

Bu yasa, özellikle güneş ışınlarının yüzeye düşme açısını, spot ışıklarının etkisini ve lambaların aydınlatma performansını analiz etmek için kullanılır.

Uygulama Alanları:

- Güneş panelleri: En verimli elektrik üretimi için ışığın dik gelmesi sağlanır.
- Sokak aydınlatmaları: Işık açısı ayarlanarak yol üzerindeki eşit dağılım sağlanır.
- Fotoğrafçılık ve sahne ışıkları: Gölgeleme etkileri azaltmak için ışık açısı optimize edilir.

Fotometri ve cosinüs yasası, ışık tasarımı, mimari aydınlatma ve enerji verimliliği gibi alanlarda yaygın olarak kullanılır.

Uzaklıklar karesiyle ters orantı yasası

Işık şiddetinin tayininde en sade yöntem ters kareler kanunudur. Kaynaktan yüzeye gelen ışık şiddeti mesafenin karesiyle ters orantılıdır. Işık ses ve elektrik alanları gibi fiziksel büyüklüklerin kaynaktan uzaklaştıkça nasıl azaldığını açıklayan temel fizik prensibidir.

$$E_1 = \frac{I_1}{r_1^2} \cos \theta, E_2 = \frac{I_2}{r_2^2} \cos \theta \dots\dots\dots 5$$

$$E_1 = E_2 \text{ ise } \frac{I_1}{r_1^2} = \frac{I_2}{r_2^2} \dots\dots\dots 6$$

Lambert Beer yasası (Soğurma- absorpsiyon)

Lambert Beer Yasası, ışığın saydam bir ortamdan geçerken soğurulmasını (absorbe edilmesini) açıklar. Özellikle optik ve kimyada, çözeltilerin yoğunluk analizi için kullanılır.

$$\Phi = \pi L S \dots\dots\dots 7$$

Φ = Lümen cinsinden cisim ve düzlemden yayılan ışık akısı

L = Lambert Yasasına göre yüzeyin sabit olan cd/m^2 cinsinden parlaltısını

$S = m^2$ cinsinden cismin ve düzlemin yüzey alanı

Önemli Sonuçlar:

- Ortam ne kadar yoğun ve kalınsa, ışık o kadar çok soğurulur.

- Daha büyük μ değeri, daha fazla ışık soğurulması anlamına gelir.

Kullanım Alanları:

- Güneş gözlükleri ve renkli camların ışık geçirme oranları
- Tıbbi görüntüleme (X-ray ve MRI kontrast maddeleri)
- Kimyada çözeltilerin konsantrasyonunu belirlemek (UV-Vis spektrofotometri)

Lambert yasaları, ışığın yansımaları, yayılması ve soğurulmasıyla ilgili birçok fiziksel ve mühendislik uygulamasında temel alınır.

Armatürler noktasal değildir ancak noktasal olarak kabul edilerek hesaplamalar yapılır. Bir armatür en büyük boyutunun yaklaşık 10 katı uzaklıktan %1'den küçük hatayla, 5 katı uzaklıktan %1 ve %2 arasındaki hata ile noktasal kabul edilir. Lambert yasasına göre ışık yayan küresel armatürler her doğrultudaki ışık akıları ve şiddetleri eşit olduğundan her uzaklıkları noktasal kabul edilebilecek özel bir duruma sahiptir.

Aydınlık düzeyi

Aydınlanma, bir alanın veya bir nesnenin üzerine düşen ışık miktarını ifade eder. Aydınlatma düzeyi genellikle biriminin lüks (lx) olduğu birimle ölçülür. Aydınlatma, çeşitli faktörlere bağlı olarak değişebilir, bunlar arasında: Işık kaynağı, ışık şiddeti, mesafe, engeller ve yansımalar aydınlık düzeyini değiştirir.

Aydınlanma seviyesi, özellikle mimari tasarım, aydınlatma mühendisliği, görüntüleme sistemleri ve uygun aydınlatma düzeyi, konfor ve görsel netlik açısından önemlidir. Aydınlik düzeyi, görsel konforu ve verimliliği etkileyebilir. Yetersiz aydınlatma göz yorgunluğuna neden olurken, aşırı aydınlatma da rahatsız edici olabilir. Genellikle aydınlanma düzeyi farklı alanlarda farklı seviyelerde olması gerekir. Örneğin; Güneşli bir gün: 100.000 lux, Ofis ortamı: 300-500 lux, Oturma odası: 100-300 lux, Ay ışığı: 0.1-0.3 lux

Aydınlanma hesapları, bir yüzeye düşen ışık miktarını belirlemek için yapılır ve genellikle aydınlanma şiddeti (E) ile ifade edilir.

Aydınlanma şiddeti şu formülle hesaplanır:

$$E = \frac{I}{d^2} \dots \dots \dots 8$$

E = Aydınlanma şiddeti (lux), I = Işık kaynağının ışık şiddeti (candela, cd), d = Işık kaynağı ile aydınlatılan yüzey arasındaki mesafe (metre)

Eğer bir ışık kaynağının toplam ışık akısı (lümen, lm) biliniyorsa, aydınlanma şu şekilde hesaplanabilir:

$$E = \frac{\Phi}{A} \dots\dots\dots 9$$

Φ (Fi) = Işık akısı (lümen), A = Aydınlatılan yüzey alanı (m²)

Eğer birden fazla ışık kaynağı varsa, her birinin katkısı ayrı ayrı hesaplanıp toplanabilir. Işık belirli bir açıyla düşüyorsa, şu formül kullanılır; ışık yüzeye θ açısıyla düşüyorsa:

$$E = \frac{I \cdot \cos \theta}{d^2} \dots\dots\dots 10$$

Noktasal kaynağın oluşturduğu aydınlanmayı hesaplayalım; Noktasal kaynaktan çıkan ışık akısının doğrultuya bağlı olmadığını düşünerek,

$$d\Phi = Id \dots\dots\dots 11$$

$$d\Omega = (d\delta \cdot \cos \Phi) / r^2 \dots\dots\dots 12$$

$$E = d\Phi / d\delta = (I / r^2) \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots 13$$

Birim yüzeyden tüm doğrultularda yayınlanan toplam ışık akısına eşittir.

$$S = d\Phi / d\delta \dots\dots\dots 14$$

$d\Phi$ ışık akısı, $d\delta$ yüzeyinden 2π katı açısı içinde yayılan ışık akısıdır. Aydınlık ve parlaklık birbirleriyle ilgilidir.

Parıltı

Işığın parıltısı, yüzeyden yansıyan veya yarı geçirgen ortamlardan kırılan ışığın gözle algılanmasıyla ilgilidir. Parıltı, genellikle parlak yüzeylerin veya yansıtıcı malzemelerin kullanıldığı yerlerde dikkate alınır. Hesaplamalar, ışığın yansıma açıları, malzeme özellikleri ve çevresel faktörleri içerebilir, böylece gözü rahatsız etmeyen ve istenilen estetik etkiyi sağlayan bir aydınlatma düzeni oluşturulabilir.

Kamaşma

Kamaşma, genellikle gözlerin odaklanma yeteneğini kaybetmesi sonucu görüşte bulanıklık veya kararmayı ifade eder. Göz yorgunluğu, ışık şiddetindeki değişimler veya bir sağlık sorunu kamaşmaya neden olabilir.

Kontrast duyarlılığı ve türleri

Kontrast, bir görüntüdeki en açık ve en koyu bölgeler arasındaki farktır. Görüntünün okunabilirliğini ve dikkat çekiciliğini belirler. Yüksek kontrast keskin ve belirgin ayrımları vurgularken, düşük kontrast daha yumuşak geçişleri ifade eder.

Sokak aydınlatmasında kontrast; sürücüler, yayalar, bisikletliler gibi aktif trafik unsurlarının çevreyi algılamasını sağlamak için kritik bir faktördür. İyi bir aydınlatma tasarımı; yol yüzeyi, kaldırımlar, trafik işaretleri gibi unsurlar arasındaki kontrastı optimize ederek güvenliği artırmalıdır.

Kontrast duyarlılığı: Gözlerin farklı ışık seviyeleri arasındaki ton farklarını algılama yeteneğini ifade eder. Kontrast duyarlılığı, göz sağlığı ve genel görme performansı açısından önemlidir. Yüksek kontrast duyarlılığı, düşük ışık koşullarında veya farklı renkler arasında meydana gelen ayrımı belirginleştirir. Ayrıca gece görüşü, düşük ışıktaki okuma, zorlu ışık koşullarında daha iyi görme yeteneği gibi faydalar sağlayabilmektedir.

Kontrast gerçekte cismin aydınlık seviyesine bağlı değildir. Parıltılar; cismin aydınlık seviyesi ile doğru orantılı değiştiğinden bağlı parıltı farkının değeri, belirli bir fon veya detay için sabit kalır. Fakat aydınlık seviyesinin artması ile gözün kontrast duyarlılığı artar dolayısıyla kontrast eşik değeri düşer. . Burada kontrast eşikinin tersi olan kontrast duyarlılığının değeri de büyür.

$$k=L/\Delta Le.....15$$

k: Kontrast duyarlılığı

L: Fon parıltısı ; Gözün intibak ettiği parıltı

ΔLe : Mutlak parıltı farkı eşik



Şekil 5. Renk kontrastı

Kontrast üç gruba ayrılır,

Parlaklık Kontrastı: Yeterli ışık seviyesinde aydınlatılmış ve karanlık alanlar arasındaki farkın optimize edilmesi gerekir. Aşırı parlak aydınlatma, sürücülerin gözünü alabilir (glare etkisi); düşük aydınlatma ise görüşü zorlaştırır.

Renk Kontrastı: Beyaz LED ışıklar, sarı sodyum buharlı lambalara göre daha iyi renk kontrastı sağlar. Yüksek CRI (Renk Geriverim İndeksi) değerine sahip ışık kaynakları, trafik işaretleri ve yayaların daha iyi fark edilmesine olanak sağlar

Adaptasyon Kontrastı: Gözlerin karanlıktan aydınlığa veya aydınlıktan karanlığa geçiş yaparken uyum sağlayabilmesi önemlidir. Gece sürüşlerinde aşırı karanlık ve parlak bölgeler arasındaki ani değişimler kazalara yol açabilir.

Etkinlik faktörü

Etkinlik faktörü, bir elektrik devresinin veya bir elektriksel cihazın ne kadar etkili çalıştığını gösteren bir ölçümdür. Bu faktör, gerçek gücün ne kadarının kullanışlı çalışmaya dönüştüğünü gösterir.

Etkinlik faktörü (Power Factor), genellikle 0 ile 1 arasında bir değer alır. Bir devre veya cihazın etkinlik faktörü 1'e ne kadar yakınsa, o kadar etkili bir şekilde çalıştığı anlamına gelir.

Etkinlik faktörü, özellikle elektriksel cihazlar ve sistemler için enerji verimliliğini değerlendirmede önemlidir. Yüksek etkinlik faktörleri, enerji kayıplarını minimize eder ve elektrik sistemlerinin daha verimli çalışmasını sağlar. Düşük etkinlik faktörleri ise, güç kayıplarına ve enerji israfına neden olabilir.

Işık etkinliği (Lümen/Watt) ;Bir lambanın verimliliğini belirlemek için en yaygın kullanılan yöntemdir. Lamba tarafından üretilen toplam ışık miktarının (lümen cinsinden) tükettiği elektrik gücüne (watt cinsinden) oranıdır.

$$e = \frac{\Phi}{P} \dots\dots\dots 16$$

e = Işık etkinliği (lm/W), Φ = Işık akısı (lümen, lm), P = Güç tüketimi (watt, W)

Güç etkinliği; Lambanın şebekeden çektiği gücün ne kadarının aktif güç olduğunu gösterir.

$$PF = \frac{P}{S} \dots\dots\dots 17$$

PF = Güç faktörü, P = Aktif güç (Watt, W), S = Görünen güç (Volt-Amper, VA)

Bir lambanın toplam enerji verimliliğini belirlemek için hem ışık etkinliği hem de güç faktörü birlikte değerlendirilir. Işık etkinliği ve güç faktörünün birleşimi.

$$E = e \cdot PF \dots\dots\dots 18$$

E = Toplam etkinlik faktörü, e = Işık etkinliği (lm/W), PF = Güç faktörü

Örneğin,

LED Lamba: $e = 100 \text{ lm/W}$, $PF = 0.9$ $E=100 \times 0.9=90$

Floresan Lamba: $e = 70 \text{ lm/W}$, $PF = 0.6$ $E=70 \times 0.6=42$

LED lambalar → Yüksek ışık etkinliği (80-150 lm/W) ve yüksek güç faktörü (0.9-0.95)

Floresan lambalar → Orta seviyede ışık etkinliği (50-100 lm/W) ve orta güç faktörü (0.5-0.9)

Akkor ampuller → Düşük ışık etkinliği (~10-15 lm/W) ve güç faktörü 1 ama çok düşük enerji verimliliği

Ortalama ve ekonomik ömür

Normal koşullarda kullanılan lambaların %50 'sinin atıl hale gelmesi durumunda oluşan süredir. Ayrıca ortalama ömür üretilen ışık kaynaklarının tüm parçalarının standartlara uyularak üretilmesi ve şebekedeki gerilim dengelemeleriyle artırılabilir.

Lambalar, Elektrik enerjisine ve lamba fiyatlarına bağlı olarak belirli ömre sahip olacak şekilde tasarlanırlar. Lambaların en az %50'sinin çalışır halde kaldığı süredir. Fiyatı ucuz olan lambalar anma ömürleri daha kısa olacak şekilde tasarlanır.

Lambaların etkinlik faktörleri kullanıldıkça azalır. Kullanılan elektrik enerjisi göz önünde bulundurulursa lamba çalışıyor olsa da değiştirilmesinin daha ekonomik olduğu süre vardır. Buna **ekonomik ömür** denir. Anma ömrünün ekonomik ömre eşit olması gerekiyor.

Amacı bakımından aydınlatma türleri

Aydınlatma sistemleri, sadece mekanın görsel olarak algılanmasını sağlamakla kalmaz aynı zamanda kullanıcı konforunu artırmak ,güvenliğini sağlamak ve belirli faaliyetlerin verimli şekilde yapılmasına yardımcı olmak amacıyla tasarlanır.

Fizyolojik aydınlatma

Fizyolojik aydınlatma; cisimlerin şekil, renk ve ayrıntıları ile rahat ve hızla görülebilme koşullarını sağlayan aydınlatma türüdür. Fizyolojik aydınlatmada temel amaç cisimlerin olduğu gibi görünmesini sağlamaktır. Bu aydınlatma türünde projeler kullanım amacına yönelik tasarlanmış olup fizyolojik aydınlatma projelerinde ortamın daha güzel görünmesi gibi estetik kaygılar söz konusu değildir. Otoyol, depo, tünel aydınlatması, metal işleme atölyesi bu aydınlatma türüne örnektir.

Dekoratif aydınlatma

Dekoratif aydınlatma, bir mekanın atmosferini ve görünümünü iyileştirmek amacıyla kullanılan estetik değeri ön planda tutan aydınlatmalardır. Bu aydınlatma da örneğin şık lambalar, avizeler, duvar aplikleri veya dekoratif LED ışıklar gibi öğeleri içerir. Dekoratif aydınlatma bir odanın tarzını vurgulayabilir, belirli bir ambiyans yaratabilir ve genel mekanın görsel çekiciliğini artırabilir. Gece kulübü aydınlatması bu aydınlatma türüne güzel bir örnek oluşturur.

Dekoratif fizyolojik aydınlatma

Bu aydınlatmada amaç, cisimlerin şekil, renk ve ayrıntılarıyla rahat ve hızla görülmesi olduğu gibi, insanların görsel konforunu, estetik duygularının tatmini ve sıcak bir atmosfer oluşturmaktır. Işığın rengi, yoğunluğu ve dağılımı gibi faktörleri dikkate alarak, kullanıcıların ruh halini ve performansını olumlu yönde etkilemeyi amaçlar. Bu aydınlatma türü, hem dekoratif hem de işlevsel bir amaca hizmet eder. Ev, otel, lokanta, bahçe-park aydınlatması bu gruba örnektir.

Dikkati çeken aydınlatma

Dikkati çeken aydınlatma, mekanın belirli bir bölgesini vurgulamak, odaklanmak veya görsel bir ilgi noktası oluşturmak için kullanılan özel aydınlatma tasarımlarını ifade eder. Bu, öne çıkan dekoratif lambalar, spot ışıklar veya özel ışıklandırma efektleri kullanılarak sağlanabilir. Dikkati çeken aydınlatma, mekandaki görsel hiyerarşiyi belirlemek, belirli nesneleri vurgulamak veya belirli atmosferleri yaratmak amacıyla tasarlanabilir.

Amaç dikkat çekmektir. Bunun için yüksek parlaltılar, renkli ışıklar, değişken ışıklı şekiller veya yanıp sönen düzenler kullanılır. Reklam panoları bu gruptandır.

Işık kökeni bakımından aydınlatma türleri

Aydınlatma sistemleri, ışığın oluşum mekanizmasına yani ışık kaynağının doğal ve suni yapısına göre sınıflandırıldığında, bu durum ışık kökeni bakımından aydınlatma olarak tanımlanır.

Doğal aydınlatma

Doğal aydınlatmanın kaynağı güneş ışığıdır. Güneş ışığının kullanıldığı ve iç mekanlara doğrudan veya dolaylı olarak giren ışığın sağladığı aydınlatma türüdür. Bu tür aydınlatma, iç mekanlara canlılık katar, görsel konfor sağlar ve enerji tasarrufu sağlayabilir. Doğal aydınlatma, birçok mimari tasarımda önemli bir faktördür ve insanların ruh halini ve sağlığını

olumlu yönde etkileyebilir. Binalarda pencere ve ışık fenerinin doğal ışıktan doğru ve ekonomik olarak yararlanacak şekilde tasarlanması, binaların güneş ışığına göre yerleştirilmesi, doğal ışığın yapay ışıkla birlikte kullanılması doğal aydınlatmanın konusu içerisinde.

Suni aydınlatma

Suni (yapay) aydınlatma elektrikli ışık kaynakları ile yani lambalarla sağlanır. İyi ve ekonomik aydınlatma da lambanın seçimi çok önemlidir. Suni ışığın üretimi, kullanımı ve dağıtımı, ekonomisi ve ölçülmesi, aydınlatma tesislerinin tasarımı suni aydınlatmanın temel konularını oluşturur. İyi bir suni aydınlatma için, büyük etkinlik faktörü, uzun ömür, ucuz fiyat, işletmesinin basit olması, büyük renk ayırt etme yeteneği, biçiminin kompakt ve estetik çözümlere uygun olması, uygun ışık rengine sahip olması ve özel spektral yapıda olması, sarsıntı ve darbelere dayanıklı olması gerekir.

Aydınlatılan yere göre aydınlatma türleri

Aydınlatma sistemleri, uygulanacağı fiziksel çevreye ve mekânsal özelliklere göre farklılık gösterir. Aydınlatma tasarımında, alanın kullanım amacı kadar, yapının iç veya dış mekân olması, doğal ışık düzeyi ve kullanıcı ihtiyaçları da dikkate alınır.

İç aydınlatma

İç aydınlatma kapalı mekanların aydınlatılmasıdır. Bir mekanın atmosferini ve kullanımını büyük ölçüde etkiler. Ev, okul, hastane, fabrika, tiyatro, sinema ve benzeri yerlerin aydınlatılması bu gruba girer.

Bu aydınlatma türünde, armatür tipine ve yerleştirilmesine bağlı olarak, çalışma düzlemine **direkt** olarak ulaşan ışığa ilaveten tavan ve duvarlardan yansıma yolu ile de erişebilir. Bir aydınlatmada çalışma düzlemine ulaşan ışığın %60'dan fazlası armatürden doğrudan geliyorsa direkt aydınlatma, % 60'dan fazlası yansıma yoluyla ulaşıyor ise **endirekt** aydınlatmadır. Bu oran % 40 ile % 60 arasında ise **karma aydınlatma** denir (Özkaya ve Tüfekçi, 1994).

Dış aydınlatma

Dış aydınlatma, açık alanları aydınlatmak için kullanılan aydınlatma sistemlerini ifade eder. Yol, meydan, park, spor sahaları, bahçe aydınlatması, sokak lambaları, bina dışı aydınlatma gibi çeşitli uygulamalara sahiptir ve genellikle güvenlik, estetik ve kullanım kolaylığı amaçlarıyla kullanılır. Bu aydınlatma türünde, ender örnekler dışında, ışık aydınlatılacak yüzeye direkt gelir.

Yol boylarında, mahalle ve sokaklarda, cadde kısımlarında kullanılan cıva, sodyum ve metal buharlı halde ampullerin takılabildiği armatürler olarak adlandırılır. Yol durumuna bağlı olarak uygun yükseklikteki direklere eklenebilir ya da monte edilebilir.

Işık üretim esasına göre lambalar

Lambalar, elektrik enerjisinin ışık enerjisine dönüşme prensibine göre sınıflandırılır. Bu dönüşüm farklı fiziksel ve kimyasal süreçlerle gerçekleşir.

Standart enkandesan (akkor flemalı) lambalar

Endüstriyel çağ öncesine dayanan geleneksel bir teknolojiye sahiptirler. Elektrik akımı lambanın ısıya dayanıklı flaman telini ısıtır. Bu ısı telin içinden geçen elektronların atomlara çarpması ile oluşur. Isınan atomlar daha yüksek bir enerji seviyesine yükselir. Daha sonra bu yükseltilmiş enerji seviyelerinden geri dönüşler yaparak düşük enerji seviyelerine geri dönerler ve bu süreçte ışık yayılır. Bu dönüşler sırasında termik yolla ışık üretirler.

Enkandesan lambalar yapısal olarak üç bölümden oluşur. Cam balon, flaman ve dolgu gazıdır. Telin oksitlenmesini engellemek için cam balonun havası boşaltılır ya da asal gaz ile doldurulur. Cam balon kurşun oksit ihtiva edebildiği gibi günümüzde ucuz olması sebebiyle soda-kireç cam tercih edilmektedir. Dolgu gazı olarak ksenon veya argon kullanılır. Bu gazlar, lamba içindeki elektrik akımının geçişi sırasında ışık üretmek için ve lambanın içerisindeki basıncı düşürerek telin daha uzun süre yanmasını sağlayarak ömrünü uzatır (Özkaya ve Tüfekçi, 1994).

Enkandesan lambalarda flaman, Işık üretiminde kullanılan lambanın içindeki tel veya tellerdir. Tel için erime noktası yüksek madenler seçilmiştir. 1879 yılında Edison, 2275 °K erime noktasına sahip kömür telini kullanmıştır. Kömür flamanın etkinlik faktörü küçük ve tel özgül direncinin büyük olması kullanımını zorlaştırmaktadır.



Şekil 6. Standart Enkandesan Lambalar (SEL)

Standart Enkandesan (İnkandesen) Lambaların Avantajları

Düşük Maliyet: Üretimi ve satışı ucuzdur.

Doğal Işık: Sarımsı, sıcak ışık yayarak gözü yormaz ve doğal bir aydınlatma hissi verir.

Anında Aydınlatma: Açıldığında hemen maksimum parlaklığa ulaşır, ısınma süresi gerekmez.

Kolay Kullanım: Dimmer anahtarlarla uyumludur ve parlaklığı kolayca ayarlanabilir.

Basit Teknoloji: Elektronik devrelere ihtiyaç duymaz, her türlü elektrik sisteminde çalışır.

Standart enkandesan (inkandesen) lambaların dezavantajları

Düşük Verimlilik: Elektrikğin büyük bir kısmını (yaklaşık %90) ısıya dönüştürdüğü için enerji tasarrufu sağlamaz.

Kısa Ömür: Ortalama 750-1000 saat ömrü vardır, bu da LED ve floresan lambalara göre çok daha kısadır.

Yüksek Enerji Tüketimi: Daha fazla elektrik harcadığı için enerji faturalarını artırır.

Isı Yayılmı: Ortamı ısıtır, bu yüzden özellikle yaz aylarında klima kullanımını artırabilir.

Çevresel Etki: Daha sık değiştirilmesi gerektiği için atık miktarını artırır ve çevreye daha fazla zarar verir.

Sonuç olarak, enkandesan lambalar sıcak ve doğal ışık sağlasa da, düşük verimliliği ve kısa ömrü nedeniyle LED veya CFL (kompakt floresan) lambalar kadar tercih edilmemektedir.

Kömür flamanlı enkadesan lambalar

Kömür flamanlı lamba, 19. yüzyılın sonlarında kullanılan ilk elektrik ampullerinden biridir. Bu lambalarda akkor hale getirilerek ışık yayan flaman, kömürleştirilmiş karbon telden yapılmıştır. Thomas Edison ve Joseph Swan, kömür flamanlı ampullerin geliştirilmesinde önemli rol oynamıştır.

Flaman Malzemesi: Kömürleştirilmiş karbon tel kullanılır.

Düşük Verimlilik: Enerjinin büyük bir kısmı ısıya dönüşür.

Sıcak ve Yumuşak Işık: Sarımsı, sıcak tonlarda ışık yayar.

Kısa Ömür: Ortalama birkaç yüz saatlik kullanım ömrüne sahiptir.

Düşük Dayanıklılık: Karbon flaman kırılgan olduğu için kolayca zarar görebilir.

Kömür flamanlı enkadesan lambaların avantajları

Tarihi ve Estetik Değeri: Vintage ve nostaljik bir atmosfer yaratır.

Doğal ve Sıcak Işık: Gözü yormayan, yumuşak bir ışık üretir.

Dimlenebilir Özellik: Parlaklığı ayarlanabilir.

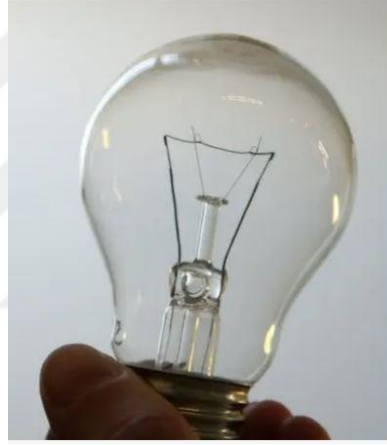
Doğal ve Sıcak Işık: Gözü yormayan, yumuşak bir ışık üretir.

Kömür flamanlı enkadesan lambaların dezavantajları

Düşük Verimlilik: Modern LED ve floresan lambalara göre çok daha fazla enerji harcar.

Kısa Ömür: Günümüz standartlarına göre çabuk tükenir.

Yüksek Isı Üretimi: Enerjinin büyük kısmı ışık yerine ısıya dönüşür.



Şekil 7. Kömür flamanlı enkadesan lambalar

Günümüzde kömür flamanlı lambalar nostaljik ve dekoratif amaçlarla kullanılmaktadır. Modern Edison ampulleri ise eski görünümü koruyarak daha verimli tungsten flaman veya LED teknolojisi ile üretilmektedir.

Tungsten flamanlı enkandesan lambalar

Avrupa da 1898-1905 arası osmiyum kullanılmış ancak çok pahalı bir maden olması dolayısıyla kullanımından vazgeçilmiştir. 1904 yılında Franco Hanaman tungsten flamanlı lambayı imal etmiştir. Tungsten flamanın dayanıklı ve uzun ömürlü olması lambaların verimliliğini artırdı. Tungsten ile yapılan flaman için özgül direnci daha küçük olduğundan daha komplike yapılarda kullanılmaktadır.

Tungsten yapımı ise yüksek saflıkta tungsten tozu hazırlanarak belirli bir karışım oranına sahip diğer katkı maddeleriyle karıştırılır ve preslenerek istenilen şekle getirilir.

Preslenmiş tungsten parçalar, yüksek sıcaklıkta bir fırında işlem görür. Bu işlem, parçaların sıkıca bağlanmasını ve mekanik dayanıklılıklarının artmasını sağlar. İşlenmiş tungsten parçaları, çekme gibi yöntemlerle tel haline getirilir. Bu adım, tungsten filamentlerin istenilen boyutlara ve kalınlıklara sahip olmasını sağlar. Tel haline getirilen tungsten filamentler ise yüksek sıcaklıkta bir fırında daha fazla işlem görür. Bu işlem, filamentlerin son özelliklerini kazanmasına ve istenilen ışık üretimine uygun hale gelmesine yardımcı olur. Bu işlemler neticesinde erime sıcaklığı düşük olan tungstenin (3653 0K) erime noktası kömürden (2773 0K) yüksek hale gelmiştir. Bu sıcaklıklardan yüksek sıcaklıklarda lambalarda toz parçacıkları oluşur. Sonuç olarak enkandesan lambalar kömür ve tungsten flamanlı olarak kullanılmış olup günümüzde tungsten flamanlı lambalar tercih edilmektedir. Flamanın boyutlandırılması ohm kanuna dayanır (Özkaya ve Tüfekçi, 1994).

Lamba Gücü, PL (W), Lamba Gerilimi, U (Volt), Lamba Akımı, IL (Amper), Flaman Direnci RF (Ω) olmak üzere,

$$PL=U \cdot IL, IL=U/RF \dots\dots\dots 19$$

$$PL=U^2/RF, RF=U^2/PL \dots\dots\dots 20$$

Flaman telinin kesiti, S(mm²), Özgül direnci ρ ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$), uzunluğu, l (m), olmak üzere,

$$RF=(\rho \cdot l)/S$$

$S=\pi r^2$ (r telin yarıçapı) (Telin kesit alanı)

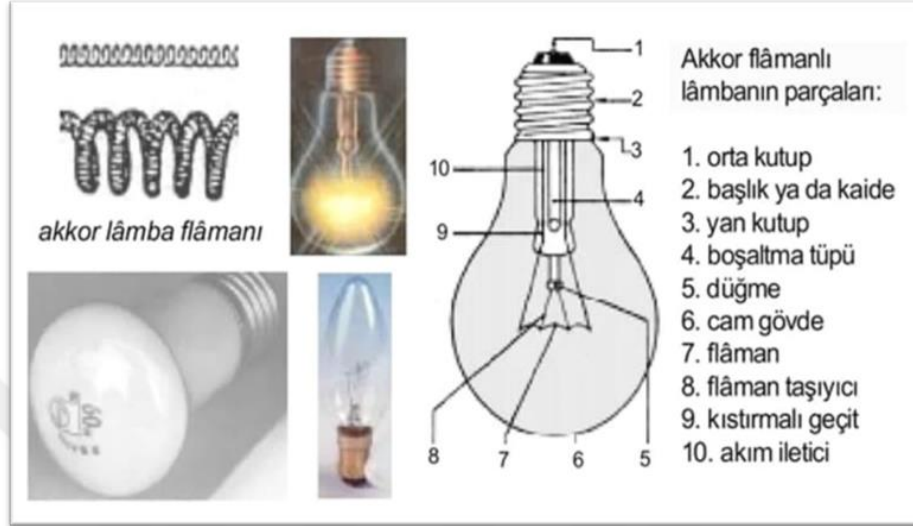
$$PL=U^2/RF \Rightarrow PL=(U^2 \cdot \pi \cdot r^2)/(\rho \cdot l) \Rightarrow l=(U^2 \cdot \pi \cdot r^2)/(P \cdot \rho) \dots\dots\dots 21$$

Flaman telinin uzunluğu bu formül ile bulunabilir.

Tungsten flamanlı enkandesan lambalar gerilim değişimine çok duyarlıdır. Lambalar belirli gerilim için imal edilirler ve bu gerilime anma gerilimi denmektedir. Lambaya daha yüksek gerilim uygulandığında flamandan gerekenden daha yüksek bir gerilim geçer ve lambanın kullanım ömrü azalır. Dağıtım trafosundaki çıkış gerilimi, konut bölgeleri (Orta Gerilim) OG şebeke gerilim düşümünü karşılayabilmek için % 5 oranında daha yüksek tutulur. Örneğin ülkemizde kullanılan alçak gerilim (AG) değeri olan 220 V ele alırsak, özellikle konut bölgelerinde gece yarısından sonra gerilimi 231-241 volt aralığına çıkabilirken, akşam saatlerinde 215-220 volt seviyesine düşebilir. Gündüz saatlerinde ise şebeke gerilimi 223-228 volt aralığındadır. Bu değerler abonenin dağıtım trafosuna olan uzaklığına bağlıdır. İyi planlanmış şebekede hat sonu gerilim değeri, hat başından % 3-5 daha düşüktür hat sonunda gerilimin minimum değeri 220 volt olması istenir. Tungsten flamanlı lambalar dolgu gazına göre üç gruba ayrılır.

Normal enkandesan lambalar (NEL, SEL)

Standart enkandesan lambalar, genellikle evlerde ve ofislerde kullanılan standart lambalardır. Bunlar genellikle tungsten filamentler kullanılarak yapılır ve cam bir ampul içine yerleştirilirler. Tungsten flaman ve argon veya azot-argon karışımı bulunurken hepsinde farklı olarak cam balon şekli ve boyutu ve başlıkları farklılık gösterebilir.



Şekil 8. Normal enkandesan lambalar

Kripton lambalar

Cam balonun ısı iletim katsayısı daha düşük olan kripton gazıyla doldurularak etkinlik faktörü artırılır.

Tungsten halojen lambalar (THL)

Tungsten halojen lambalar, tungsten filamentlerin bir halojen gazı atmosferinde çalıştığı lambalardır. Bu halojen gaz, genellikle iyodür veya bromür formunda bulunur. Bu gaz, lambanın içindeki tungsten filament üzerinde bir kimyasal döngü oluşturarak, filamentin aşınmasını azaltır ve lambanın ömrünü uzatır. NEL'lerden farkı sadece halojen katkısı olmayıp cam cinsi bakımından da farklılık gösterir. Yüksek sıcaklıklara dayanıklı özel kuartz cam kullanılır.

Özet olarak enkandesan lambaların avantajlarını sıralayacak olursak; düşük maliyetli, açıldıklarında hemen ışık verirler, ısıtılma süresine ihtiyaç duymazlar, ışığı genellikle sıcak ve doğal bir renk sıcaklığına sahiptir, renk çeşitliliği bulunur. Dezavantajları ise lambaların çoğu enerjiyi ısıya dönüştürür enerji verimliliği düşüktür, kısa ömür, çevreye zararlı maddelerin salınımına neden olur. Enkandesan lambalar ısı üretirler ve bu da çevresel koşulları etkileyebilir. Özellikle yaz aylarında bu ısı, binaların iklimlendirme sistemlerinin daha fazla çalışmasına ve dolayısıyla enerji tüketiminin artmasına neden olabilir.



Şekil 9. Tungsten halojen lambalar (THL)

Deşarj lambaları ve kullanılan araçlar

Deşarj lambaları, elektrik akımını kullanarak gazı iyonlaştırıp aydınlatma sağlayan yüksek verimli aydınlatma cihazlarıdır. İçinde bulunan gaz yalıtkan olup enerji verilince serbest elektronlar üretilirse iletken haline gelir. Elektrik alanın etkisiyle serbest kalan elektronlar anoda doğru hızlı hareket ederler ve bu sırada gaz atomlarıyla çarpışırlar. Bu çarpışma esnasında üç durum söz konusudur. Serbest elektronların hızı küçükse ,atoma çarpan elektronlar elastik olarak yansılar. Enerji kaybı ısıya dönüşür, serbest elektronların hızı atomların uyarılma gerilimine eşit büyüklükte ise elektron enerjisini atoma verir ve bunun sonunda elektron temel duruma geçerken ışıma olur, elektronların hızı atomların iyonizasyon gerilimine karşılık olan büyüklükte ise, bu durumda atom iyonize olur ve yeni parçacıklar oluşur (Özkaya ve Tüfekçi, 1994).

Gazın iyonlaşarak plazma haline gelme durumu, gaz moleküllerinin dışarıdan uygulanan enerji etkisiyle, genellikle ısı veya elektrik akımıyla, atomlarından elektron kaybetmesi sürecidir. Bu elektronlar serbest hale gelir ve gaz içinde pozitif yüklü iyonlarla birlikte hareket ederler. Bu durumda, gaz plazma haline gelir. Plazma, elektriksel olarak yüklü parçacıkların (iyonlar ve elektronlar) serbestçe hareket ettiği, negatif yüklü elektronlar ve pozitif yüklü iyonlar arasındaki etkileşimlerin hakim olduğu bir durumdur. Bu plazma, lambanın içindeki fosfor kaplamayı uyarır ve fosfor, ultraviyole ışınları görünür ışığa dönüştürerek ışık yaymaya başlar. Bu süreç, lambanın içindeki gazın türüne bağlı olarak farklılık gösterebilir, ancak genel olarak iyonizasyon ve fosforun uyarılmasıyla ışık üretimi sağlanır.

Deşarj lambaları, bir elektrik akımının gazı iyonlaştırarak aydınlatma sağladığı yüksek verimli aydınlatma cihazlarıdır. İçinde bulunan gaz, elektrik akımıyla iyonlaştırılarak plazma

haline gelir. Gazın iletkenliği verilen g¼c¼n b¼y¼kl¼đ¼ lambanın iç basıncı, gazın t¼r¼ ve sıcaklığı gibi fakt¼rlere bağlıdır. D¼ř¼k basınçlı gazlar genellikle y¼ksek iletkenlik g¼sterir ¼nk¼ gaz molek¼lleri arasındaki mesafe azaldıkça, elektronların çarpışma olmadan daha kolay hareket etmesini sağlar. Ayrıca, gazın t¼r¼ ve bileşimini de iletkenliği etkiler; ¼rneđin, argon gibi inert gazlar genellikle iyi bir iletkenlik g¼sterir.

Geissler T¼p¼: 19. y¼zyılın ortalarında Heinrich Geissler tarafından icat edilen vakum t¼plerinden biridir. Bu t¼pler, gazın d¼ř¼k basınç altında bulunduğu bir ortamda çalışır. Elektrotlara uygulanan y¼ksek voltaj, gazın iyonize olmasını sağlar. Bu iyonlaşma, gazın atomlarının elektronlarını kaybetmesiyle gerçekleşir. Elektronlar, gazın içinde serbestçe hareket eder ve pozitif iyonlarla çarpışarak ışık yaymalarına neden olurlar. Bu s¼re, farklı gazların farklı renklerde ışık yaymasına olanak tanır. ¼rneđin, argon gazı içeren bir Geissler t¼p¼ mavi renkte bir ışık yayabilir. Bu şekilde, t¼p¼n içindeki gazın t¼r¼ ve basıncı, yayılan ışığın rengini ve karakteristiğini belirler. Bu t¼pler, modern gaz deşarj lambalarının ¼nc¼s¼ olarak kabul edilir.



şekil 10. Geissler t¼p¼

Akım sınırlayıcı araçlar

Deşarj lambaları doğrudan şebekeye bağlanamaz. Bu lambalarda deşarj sonucunda lambanın iletkenliği ve akımın s¼rekli arttığı bilinmektedir. Akımın s¼rekli artmasıyla lambanın patlaması olasıdır. Bu nedenle akım sınırlayıcıları kullanılmaktadır.

End¼ktif balast

Deşarj lambalarında end¼ktif balastlar, lambaların istikrarlı bir şekilde çalışması için gereklidir. Bu balastlar, lambaların içindeki gazın iyonlaşmasını sağlayarak lambanın yanmasını başlatır ve s¼rd¼r¼r. Ayrıca, end¼ktif balastlar, lambaların çalışma akımını kontrol eder ve aşırı akımlara karşı koruma sağlar. Bu sayede, lambaların ¼mr¼ uzar ve daha verimli bir şekilde çalışır. End¼ktif balastlar ayrıca, lambaların s¼nmesi ve tekrar yanması sırasında oluşan gerilim dalgalanmalarını da d¼zenler, bu da lambaların istikrarlı bir şekilde aydınlatma

sağlamasına yardımcı olur. U şeklinde olup bir yüzü yalıtılmış sisli saç levhalardan oluşan bir çekirdek etrafına sarılmış bakır iletkenlerden oluşur. Bu balastlarda frekans değiştirme özelliği bulunmadığından genellikle daha fazla enerji tüketir ve titreşime neden olabilir.



Şekil 11. Endüktif balast

Elektronik balast

Elektronik balastlar, sokak aydınlatmalarında yaygın olarak kullanılan yarı iletken modern balast türleridir. Gerilimin şeklinin, genliğinin ve frekansının elektronik düzen yardımıyla rahatça kontrolü sağlanmaktadır. Elektronik balastlar endüktif balastlardan daha pahalı olmasına karşılık daha yüksek verimlilik sağlar. Ayrıca endüktif balastlara nazaran daha az titreşim sağladığı için etkinlik faktörü daha yüksektir ve lambanın ömrünü uzatır.



Şekil 12. Elektronik balast

Ateşleme araçları (İgnitör)

Deşarj lambalarda ateşleme, lambanın içindeki gazın iyonize olması başlatarak lambanın, içindeki elektrik akımının geçmesiyle gerçekleşir. Elektrotlarda önceden ısıtmaya gerek duyulmadan, deşarj lambalarında ateşlemeye yönelik gerilimsel atlama sağlayan aygıtlardır. Ateşleme gerilimi genellikle şebeke geriliminden yüksektir. Yüksek Basınçlı Sodyum buharlı lambalar ile metal halojen lambalar ignitör olmadan çalışmazlar. Ani ihtiyaç duyulan elektrik akım fazlasına veya düşük güce ihtiyaç duyulan zamanlarda ayarlama yaparak lambanın ömrünü uzatır.



Şekil 13. 70-400 Watt ateşleyici (İgnitör)

Kompanzasyon kondansatörü ve bobini

Deşarj lambaları (floresan, cıva buharlı, sodyum buharlı, metal halide vb.) çalışmak için balast (bobin) kullanır. Bu balastlar endüktif yük oluşturduğu için şebekeden reaktif güç çeker ve güç faktörünü düşürür. Güç faktörünü iyileştirmek için kompanzasyon kondansatörleri kullanılır.

Kompanzasyonun Amacı:

- Deşarj lambalarının balastları endüktif özellikte olduğu için reaktif güç tüketimini azaltmak
- Güç faktörünü yükseltmek ($\cos\phi$ 'yi 1'e yaklaştırmak)
- Elektrik faturalarındaki reaktif güç cezalarını önlemek
- Şebekeyi gereksiz yüklenmelerden korumak

Gerekenden büyük bir kondansatör seçilirse kapasitif reaktif güç oluşur, bu da şebekede ters bir etki yaparak güç faktörünü bozabilir.

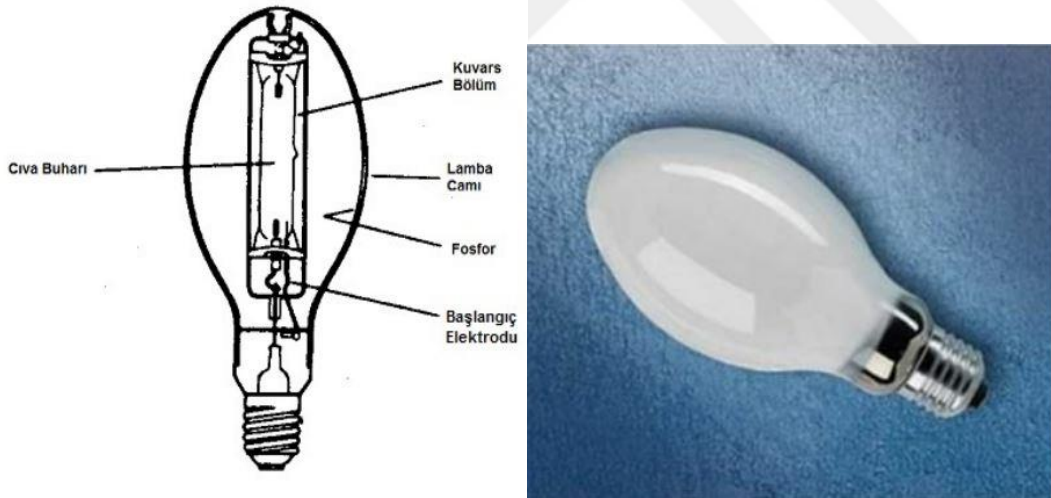
Yol aydınlatmasında kullanılan deşarj lambaları (ışık kaynakları)

Yol aydınlatmalarında kullanılan deşarj lambaları kızgın elektrotlu lambalardır. Deşarj lambaları baryum oksit kaplı kızgın elektrot (Wehnelt elektrodu) kullanılmıştır. Bu lambalar gaz cinsine ve basıncına bağlı olarak farklılık gösterirler. Ana gaz-buhar basıncı 1 atmosferin altındaki lambalar alçak basınçlı 1 atmosferin (N/m^2) üzerinde olanlar ise yüksek basınçlı lamba denir. En çok kullanılan deşarj lambaları, alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar, yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar, cıva buharlı lambalar, karma cıva buharlı, metal halojen lambalardır.

Cıva buharlı lambalar (CBL'ler)

Cıva buharlı lambalar, genellikle endüstriyel aydınlatma için kullanılan eski bir aydınlatma teknolojisidir. 20. yüzyılın başlarında (1930) popülerdi, ancak günümüzde enerji verimliliği ve çevresel etkileri nedeniyle daha modern aydınlatma çözümleri tercih edilmektedir. Düşük renksel geri verim değerine sahiptir, cıva buharlı lambada üretilen ışık akısı mavi ve yeşil ışık yoğunluğundadır. Mavi ve yeşil ışık diğer renkleri olumsuz etkilediği için lambanın içi fosfor kaplanmıştır. Fosfor kaplaması, UV ışığını beyaz ışığa dönüştürür.

Cıva buharlı lambalar (CBL), cam bir tüp içinde bulunan bir cıva buharı ile çalışırlar. Cıva, Cıva buharlı lambaların adını aldıkları temel bileşendir. İç yapıları, cıva buharı ve argon gazıyla dolu olan cam bir tüp, lambanın ana gövdesini oluşturur. Elektrik akımı tüp içindeki cıva buharını iyonize eder ve ışık üretir. Cam tüpün her iki ucunda bulunan elektrotlar, kolay elektron çıkmasını sağlayan tungsten malzemeden yapılmıştır. CBL'ler de ateşlemeye yardımcı elektronlarda vardır. Argon gazı, cam tüp içinde cıva buharı ile birlikte bulunarak lambanın iç basıncını ayarlar ve cıva buharının işlevini destekler. CBL'ler de -20°C 'den büyük sıcaklıklarda ve şebeke gerilimi 180 volt üzerinde olduğu zaman ateşleme gerçekleşir. Çevreye verdiği zarar nedeniyle ülkemizde 2006 yılı sonrası kullanılmamaktadır ((Özkaya ve Tüfekçi, 1994).



Şekil 14. Cıva buharlı lamba ve iç yapısı

CBL'lerin kararlı çalışma gerilimi 50-1000 watt aralığında 95 volt ile 145 volt arasındadır. Akımı sınırlayabilmek için endüktif balast veya kapasitif balast kullanılır.

Güçleri: 50 -1000 W, Işık Akıları: 1800-58500 Lm, Etkinlik Faktörü: 36-59 Lm/w, Özel flüoresan kaplı balonlarda etkinlik faktörü 61 Lm /w olarak ta üretilebilirler.

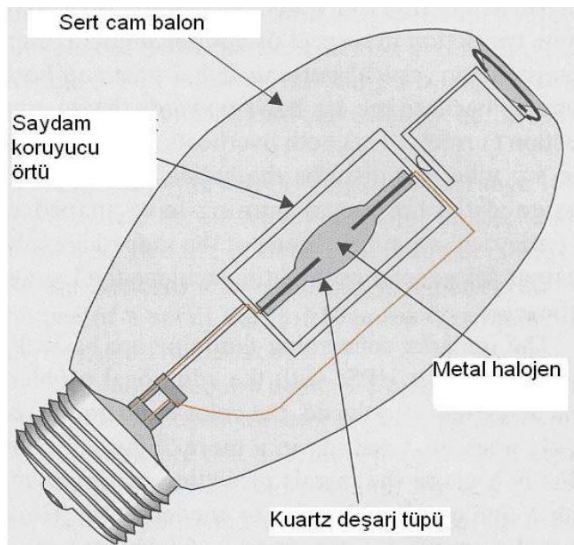
Lambanın Anma Ömrü: 13000-25000 saat civarındadır. 6000 saat kullanıldıktan sonra ışık akıları anma değerlerinin % 80'ine düşer. 6000-18000 saat aralığında değişilmesi tavsiye edilir (Özkaya ve Tüfekçi, 1994).

Cıva buharlı lambaların avantajları, daha uzun ömürlü olmaları, daha düşük enerji tüketimi, daha yüksek ışık verimli olmasıdır. Dezavantajları ise cıva içermeleri ve bu nedenle çevreye zarar verebilmeleri, daha yüksek başlangıç maliyeti, ısı yaymaları(soğutucuya ihtiyaç duyulabilir) ve modern LED ve floresan lambalara kıyasla daha fazla enerji tüketirler.

Metal halide lambalar (MHL)

Metal halide lambaların tarihi, 20. yüzyılın başlarına dayanmaktadır. 1960'larda ticari olarak kullanılmaya başlandı. İlk olarak endüstriyel aydınlatma için geliştirildiler ve daha sonra sokak aydınlatması, stadyum aydınlatması, ticari aydınlatma ve akvaryum aydınlatması gibi çeşitli uygulamalarda popüler hale geldiler.

Metal halide lambalar, CBL'lere benzer yapıdadır. Bu lambalar flüoresan kaplı çoğunlukla armut biçiminde dış balon, deşarj tüpü ve başlıktan oluşur. Dış balon içerisindeki deşarj tüpü(saf kuartz) cıva buharı ve argon gazına çinko, sodyum, talyum, indiyum, lityum, disprosyum gibi iyot bileşikleri ilave edilerek geliştirilmiştir. Yani İçerisinde yüksek basınç altında metal halojen gazları ve cıva buharı içerir. Bu lambaları, doğrudan şebeke gerilimine bağlanamazlar. Gerilim uygulandığında akım hızlı bir şekilde yükselmektedir. Bu lambalar da akım sınırlayıcısı(balast) kullanılmalıdır. Elektrik akımı geçirildiğinde, gazın iyonlaşması içindeki metal atomları yüksek enerjili hale gelmesi ile elektriksel deşarj ışık üretir. Bu ışık, cam tüpün iç yüzeyindeki fosfor kaplaması tarafından dönüştürülerek daha geniş bir spektruma yayılır. Bu halojen gaz ilave edilmesi ışık miktarında azalma oluştururken cıva buhar tayfında olmayan daha iyi renklerin oluşmasını da sağlar.



Şekil 15. Metal halide lamba ve iç yapısı

Kuartz Cam Deşarj Tüplü MHL türleri, Dış Balonlu-Tüplü Tek Uçlular, Dış Tüplü Çift Uçlular, Dış Tüpsüz Çift Uçlular olmak üzere 3 grupta toplanabilir. Bu lambaların çok geniş

çeşitliliğe sahip olup Dış Balonlu-Tüplü Tek Uçlular (Şeffaf Dış Tüplüler, Şeffaf Armut Dış Balonlular, Flüoresan Madde Kaplı Armut Dış Balonlular), Dış Tüplü Çift Uçlular (Üç Çizgililer, Çok Çizgililer), Dış Tüpsüz Çift Uçlular. Bu MHL türünde 230 voltluk kuartz deşarj tüpünde gücü 70-2000 watt arasında değişmektedir. Lümen değerleri de oldukça yüksektir.

Seramik deşarj tüplü MHL'ler

Dış Balonlu-Tüplü Tek Uçlular (Şeffaf Dış Tüplüler, Flüoresan Madde Kaplı Dış Tüplüler, Şeffaf Armut Dış Balonlular, Flüoresan Madde Kaplı Armut Dış Balonlular), Reflektörlüler (İğne Başlıklılar, Vida Başlıklılar), Dış Tüplü Çift Uçlular) başlıklar altında toplanabilir. Renk ayrımının yeterli olduğu mağaza, vitrin, müze depo, yeşil ve açık alanların aydınlatılmasında kullanılmaktadır. Yüksekliği fazla olan ve üstü kısmen kapalı alanların endirekt aydınlatılmasında da kullanılır. Seramik deşarj tüplü lambalarda gücü 35-250 watt arasında değişmektedir. Işık akısı da oldukça yüksektir.



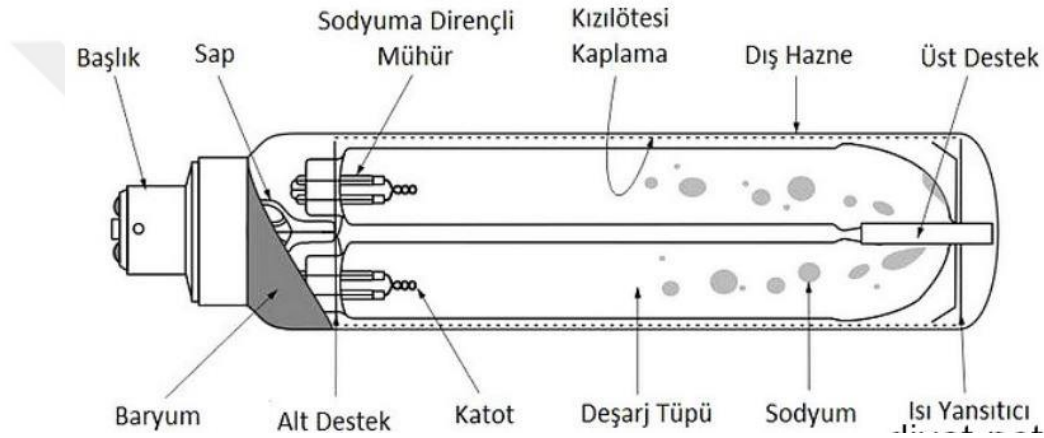
Şekil 16. Seramik Deşarj Tüplü MHL'ler

Metal halide lambalar, renk yelpazesi geniş, yüksek yoğunluklu ve parlak bir ışık sağlarlar, bu nedenle aydınlatmanın yoğun olması gerektiren alanlarda tercih edilirler. Avantajları arasında yüksek verimlilik, uzun ömür, iyi renk çözünürlüğü ve geniş kullanım alanları bulunur. Ancak, dezavantajları arasında başlangıç maliyetinin yüksek olması, ısınma süresi, bakım gerektirmeleri ve cıva buharlı lambalara göre daha az enerji verimliliği bulunabilir.

Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar (ABSBL)

Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar (ABSBL), genellikle sokak aydınlatması ve endüstriyel aydınlatma gibi uygulamalarda kullanılan özel bir aydınlatma türüdür. 1931 yılında geliştirilen ABSB lambalar kızgın elektrotlu alçak basınçlı ve alçak gerilimli deşarj lambaları olup sodyum buharının içerisinde belirli bir basınç altında elektrik akımı geçirilerek çalışır.

U şeklinde bükülen deşarj tüpü, havası boşaltılmış, iç yüzeyi indiyum oksitle kaplanmış bir dış tüpün içine yerleştirilmiştir. Bu lambalarda deşarj tüpü ışıksal verimi 260 °C (derecede) maksimum değerine ulaşır. Deşarj tüpü bu sıcaklıkta, sodyum buharı basıncı 1N/m²(0,008 mm Hg) asal gazla birlikte 1070 N/m²(8 mm Hg) olacak şekilde boyutlanır (Özkaya ve Tüfekçi, 1994).



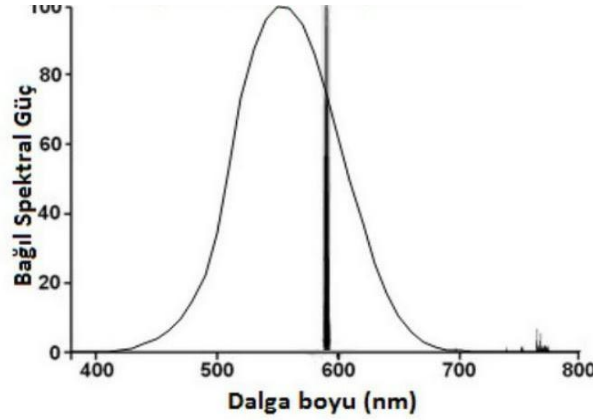
Şekil 17. Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar

Lambanın içinde cam bir ampul bulunur. Bu ampul, lambanın içindeki gazların korunmasını sağlar. Elektrik bağlantıları ampulün dışında, genellikle bir taban veya soket üzerinde bulunur. Lambanın içindeki sodyum buharı, gaz deşarj lambalarının ana aydınlatma kaynağıdır. Elektrik akımı, sodyum buharını iyonize eder ve bu da lambanın içindeki gazların ışık yaymasını sağlar. Lamba, elektrik akımını düzenlemek ve lambanın çalışmasını sağlamak için elektronik bileşenler içerir. Bu bileşenler, lambanın güvenli ve etkili bir şekilde çalışmasını sağlar. Reaktör (Balast) ise, bazı modellerde, lambanın yanında bir reaktör veya balast bulunur. Bu, lambanın doğru voltaj ve akımla çalışmasını sağlar.

ABSBL'lerin kararlı çalışma gerilimi 18W-135W aralığında 55V ila 173 V arasındadır. 180 W ise 240 V'dur. Güçleri: 18-180W, Işık Akıları: 1800-33000 Lm, Etkinlik Faktörü: 100-200 Lm/W (Balast kaybı hariç), 176-721 Lm/W (Balast kaybı dahil)

Anma Ömrü: Lambanın %50 anma ömrü, 1600-1800 saat aralığında olup lambanın ışık akısındaki azalma ve lambanın arıza oranı dikkate alındığında 1000-9000 değiştirilmesi tavsiye edilir.

Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar, özellikle düşük enerji tüketimi ve uzun ömürleri nedeniyle tercih edilirler. Ayrıca, karakteristik sarı-turuncu ışık yayarlar bu da lambanın yapısındaki sodyumun ışık spektrumundan kaynaklanmaktadır.



Şekil 18. ABSBL'nın ışık spektrumu görme hassasiyeti eğrisi

Alçak basınçlı sodyum buharlı lambaların avantajları (ABSBL)

Yüksek Verimlilik: Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar, enerjiyi ışığa dönüştürme konusunda oldukça verimlidirler. Bu nedenle, enerji maliyetlerini düşürmek için tercih edilirler.

Uzun Ömür: Bu tür lambaların ömrü oldukça uzundur. Diğer geleneksel lambalara göre daha az sıklıkla değiştirilmesi gerekir, bu da bakım maliyetlerini azaltır.

Renk İyileştirmesi: Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar, karakteristik sarı-turuncu bir ışık yayarak gece görüşünü iyileştirir. Bu, trafik sinyalleri ve sokak aydınlatması için idealdir.

Düşük Bakım Maliyetleri: Uzun ömürleri ve az enerji tüketimleri nedeniyle, alçak basınçlı sodyum buharlı lambaların bakım maliyetleri düşüktür.

Alçak basınçlı sodyum buharlı lambaların dezavantajları (ABSBL)

Renk Sıcaklığı: Alçak basınçlı sodyum buharlı lambaların yaydığı ışık genellikle sarı-turuncu renkte olup, doğal renkleri bozabilir. Bu durum, bazı uygulamalarda istenmeyen bir durum olabilir.

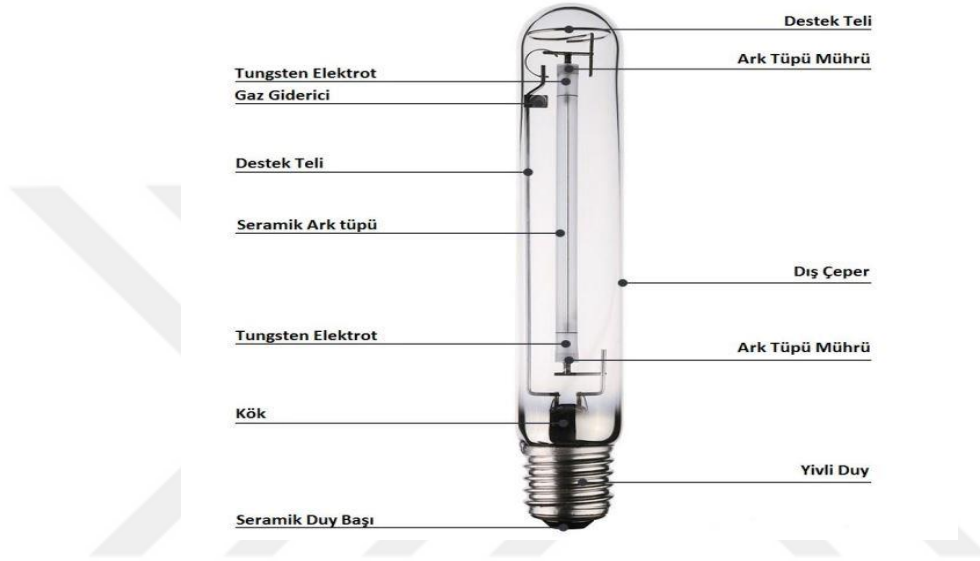
Uygunluk Sorunları: Bazı yerlerde, özellikle estetik veya güvenlik açısından, sarı-turuncu renkli ışık tercih edilmeyebilir. Bu durumda, alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar uygun bir seçenek olmayabilir.

Kullanım Alanı Sınırlamaları: Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar genellikle sokak aydınlatması ve endüstriyel aydınlatma gibi belirli uygulamalarda tercih edilir. Diğer aydınlatma ihtiyaçları için uygun olmayabilirler.

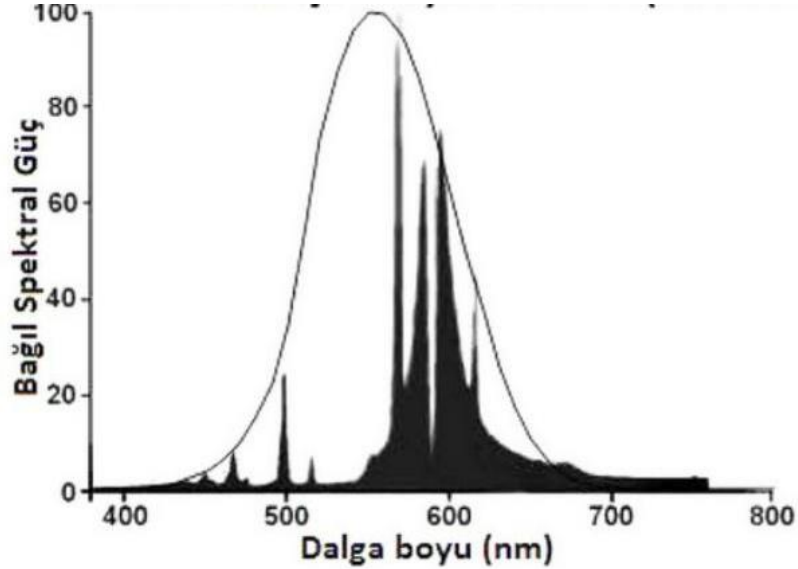
Yavaş Başlangıç: Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar, ışıklarının tam parlaklığa ulaşması birkaç dakika sürebilir. Bu, acil aydınlatma ihtiyaçlarında dezavantajlı olabilir.

Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar (YBSBL)

1960 yılında geliştirilen Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lambalar gaz deşarj lambalarıdır. Yüksek basınçlı sodyum buharı içerisinde elektrik akımı geçirildiğinde lamba içerisindeki gazın yoğunlaşmasını sağlar. YBSBL'ler, sodyum, civa ve xenon içerirler. Sodyumdan ana buhar, civadan ise dolgu buharı oluşur.



Şekil 19. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar



Şekil 20. YBSBL' nin ışık spektrumu

Yüksek ışık çıkışına sahiptirler ve uzun ömürlüdürler. Ancak renk sıcaklığı konusunda bazı sınırlamalara sahiptirler



Şekil 21. Sodyum buharlı armatür

Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların avantajları (YBSBL)

Yüksek Verimlilik: Sodyum buharlı lambalar, enerjiyi ışığa dönüştürmede oldukça verimli olabilir, bu da enerji tasarrufu sağlar. 90-150 lm/w aralığında ışık verimi. 250 w armatür için 27.000-33.000 lm ışık akısı aralığındadır.

Uzun Ömür: Sodyum buharlı lambalar genellikle uzun ömürlüdür, bu da daha az sıklıkta değiştirilmesi gerektiği anlamına gelir. Genel de 12.000-24.000 saat aralığındadır.

Yüksek Işık Çıkışı: Sodyum buharlı lambalar, yüksek ışık çıkışı sağlayarak geniş alanlarda etkili bir aydınlatma sağlar.

Uygun Maliyet: Belirli durumlarda, uzun vadeli enerji tasarrufu ve düşük bakım maliyetleri nedeniyle uygun maliyetli bir seçenek olur.

Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların dezavantajları (YBSBL)

Renk Sadakati: Bir görüntünün ya da ekranın, gerçek hayattaki renkleri ne kadar doğru ve gerçeğe uygun şekilde yansıttığını ifade eder. Yüksek basınçlı sodyum lambalar, renk sıcaklığı ve renk sadakati konusunda sınırlamalara sahip olur bu da renk detaylarının doğru bir şekilde algılanmasını zorlaştırır.

Başlangıçta Isınma Süresi: Sodyum buharlı lambalar, tam parlaklığa ulaşmak için bir süre ısınma ihtiyacı duyabilir, bu da anında tam aydınlatma gerektiren durumlarda dezavantaj olabilir.

Çevresel Etkiler: Bu lambaların üretiminde ve kullanımında civa gibi çevresel olarak zararlı maddeler kullanılabilir.

Aydınlatma Kontrolü Zorluğu: Sodyum buharlı lambalar genellikle dim (ışık şiddetini azaltmak, kısmak) edilemez, bu da aydınlatma kontrolünde sınırlamalara neden olur.

Bakım Gereksinimi: Uzun ömürleri olmasına rağmen, arızalı bir lambanın değiştirilmesi için genellikle uzman yardımına ihtiyaç duyulabilir.

Bu dezavantajlar, kullanım senaryosuna ve ihtiyaçlara bağlı olarak değerlendirilmelidir.

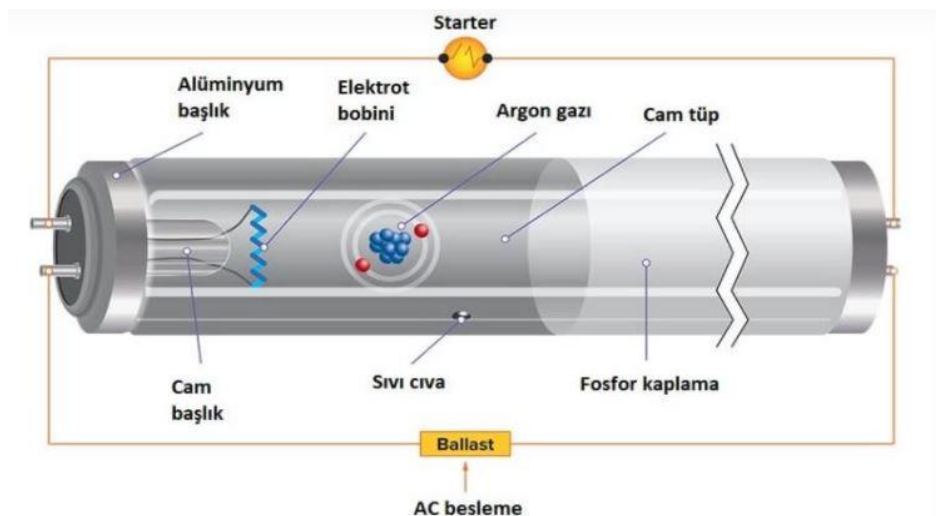
Flüoresan lambalar (FL'ler)

Flüoresan lambaların çalışma prensibi, elektrik enerjisinin ultraviyole (UV) ışığa, ardından bu UV ışığın görünür ışığa dönüştürülmesi esasına dayanır. İşleyiş süreci şu adımlarla özetlenebilir. Flüoresan lambalar görünmeyen ışınları daha uzun dalga boylarına yani ışığa dönüştürürler. Flüoresan lambalar tüpün iç cidarına flüoresan madde sürülmüş alçak basınçlı civa buharlı lambalardır.

Elektrik akımı iyonlaşmış gaz civa buharını uyarır bu çarpışma sonucunda ultraviyole (UV) ışınları ortaya çıkar. UV ışığını görünür ışığa dönüştüren fosfor (floresan) kaplamadır. UV ışınları kaplamaya çarptığında fosfor ışıdayarak **görünür ışık** elde edilir.

Kısaca anlatmak gerekirse;

Elektrik enerjisi → Cıva buharı → UV ışınımı → Fosfor → Görünür ışık



Şekil 22. Flüoresan lambaların iç yapısı

Gaz Deşarjı: Lamba tüpünün içinde az miktarda cıva buharı ve asal gaz (genellikle argon) bulunur. Lamba çalıştırıldığında, elektrotlar arasında bir elektrik arkı oluşur. Bu ark, cıva atomlarını uyarır.

UV Işınımı: Uyarılan cıva atomları, ultraviyole ışınlar (özellikle 254 nm dalga boyunda) yayar. Bu ışık insan gözüyle görülmez.

Fosfor Kaplama: Tüpün iç yüzeyi fosforla kaplıdır. UV ışık fosfor kaplamaya çarptığında, fosfor maddesi bu ışığı emerek görünür ışığa dönüştürür.

Görünür Işık Üretimi: Fosfor tabakası, UV ışığını farklı dalga boylarında (yani renklerde) yayılan görünür ışığa çevirir. Kullanılan fosfor tipine bağlı olarak ışığın rengi değişebilir (örneğin soğuk beyaz, sıcak beyaz vb.).

Balast Kullanımı: Flüoresan lambalar çalışmak için başlangıçta yüksek voltaj gerektirir, sonra da akımı sınırlamak gerekir. Bu yüzden bir balast kullanılır. Bu ya elektromanyetik (bobinli) ya da elektronik olabilir.

Flüoresan lambalar, Çubuk Flüoresan Lambalar, Kompakt Flüoresan Lambalar olarak ikiye ayrılır.



Şekil 23. Flüoresan lambalar

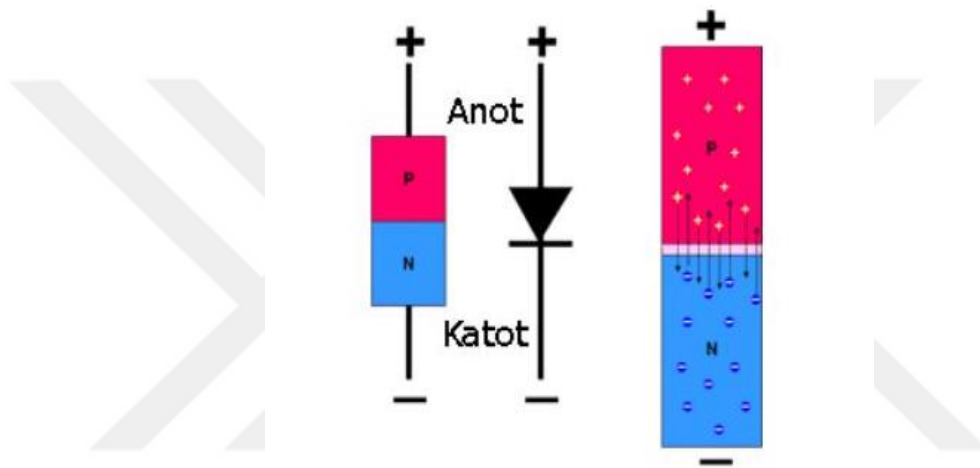
Flüoresan lambalar, elektrik enerjisini ışığa dönüştüren ve genellikle uzun ömürlü ve enerji tasarruflu olan aydınlatma araçlarıdır. Bu lambalar akkor lambalara göre %60-80 daha az enerji tüketir. Daha az enerjiyle daha fazla ışık üretirler.(yüksek lümen/watt oranı) Ömürleri 7000-15.000 saat arasındadır. Uzun ömür ve düşük enerji tüketimi sayesinde toplam maliyet düşüktür. Işık kalitesi olarak beyaz ve gün ışığı tonlarında ışık verebilirler. Renk sıcaklıkları değişkendir.(2700K-6500K arası olabilir.) Çalışırken çok az ısı üretir. Bu durum kapalı ve sıcak hassas ortamlarda avantaj sağlar. Dezavantajları ise, cıva içeriği, düşük frekanslarda titreşim özellikle eski modellerinde gözle fark edilen titreme, soğuk havalarda verim düşüklüğü, yavaş

başlama süresi(anında tam parlaklığa ulaşmazlar),sık sık açıp kapamak lamba ömrünü kısaltabilir.

LED lambalar

LED'lerin (Light Emitting Diode - Işık Yayan Diyot) çalışma prensibi, temel olarak elektronların yarı iletken bir malzeme içinde hareket ederken enerji kaybedip bu enerjiyi ışık olarak yayması esasına dayanır.

LED, P tipi (pozitif) ve N tipi (negatif) olmak üzere iki farklı yarı iletken katmanın bir araya getirilmesiyle oluşur. Bu yapı, PN eklemi olarak adlandırılır. N tipi malzeme: Fazla sayıda serbest elektron içerir. P tipi malzeme: Elektron eksikliği (delik) vardır.

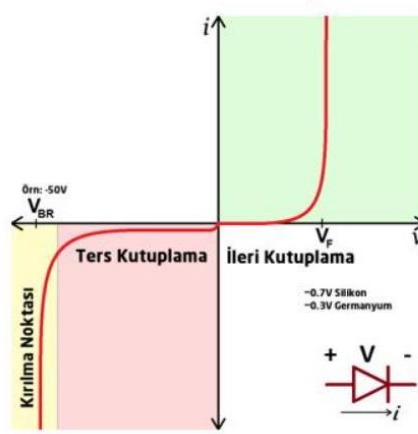


Şekil 24. Diyotun iç yapısı

LED'e doğru polariteyle (doğru yönde) bir voltaj uygulandığında, N tipinden gelen elektronlar ve P tipinden gelen delikler PN eklemine doğru hareket eder. Elektronlar, deliklerle birleştiğinde enerji kaybeder. Bu enerji, ısı yerine ışık olarak yayılır. Bu olaya elektrolüminesans (foton, ışık yayma) denir.

Çalışma Gerilimi, genellikle 1.8V – 3.3V arasındadır (rengine göre değişir).Örneğin kırmızı LED genellikle 1.8V civarında iletme geçerken, mavi ya da beyaz LED 3V civarındadır. LED'ler hassastır, bu yüzden seri bir dirençle akım sınırlandırılmalıdır. Aksi takdirde LED yanabilir.

Yayılan ışığın rengi, kullanılan yarı iletken malzemenin bant aralığına (band gap) bağlıdır. Farklı malzemeler farklı renklerde ışık yayar. LED, bir diyot gibi çalışır; ama elektronlar ve delikler birleştiğinde oluşan enerji farkı, ısı yerine ışık olarak açığa çıkar.



Şekil 25. Diyotun akım-gerilim (I-V)

Sol alt bölgede (ters polarma): akım ≈ 0 , sadece küçük bir ters sızıntı akımı (sızıntı akımı: diyot ters polarımadayken (yani anot negatif, katot pozitif olduğunda) üzerinden geçen çok küçük bir akımdır. Bu akım normal çalışma koşullarında genellikle mikroamper (μA) mertebesinde ve çoğu devrede ihmal edilebilir düzeydedir. Yarı iletken malzemedeki az sayıda termal olarak uyarılmış taşıyıcılar bu akıma neden olur.

Anot pozitif, katot negatif olduğunda diyot doğru polarizasyondadır. Eşik gerilimi (Si için yaklaşık 0.7V, Ge için yaklaşık 0.3V) geçildikten sonra diyot iletim moduna geçer. Bu noktadan sonra diyot üzerinden geçen akım çok hızlı artar. Gerilim arttıkça akım üssel olarak yükselir.

Anot negatif, katot pozitif olduğunda diyot ters polarizasyondadır. Bu durumda diyottan çok küçük bir sızıntı akımı geçer. Bu akım genellikle ihmal edilebilir düzeydedir. Gerilim belli bir noktaya (kırılma gerilimi - breakdown voltage) ulaştığında ise akım birden fırlar (bu Zener diyotlarda kullanılır).

LED'lerin elektronik devre elemanları

Sokak aydınlatmasında kullanılan LED armatürlerin iç yapısı, sadece birkaç LED değil, aynı zamanda verimli ve uzun ömürlü çalışmayı sağlayan birçok elektronik bileşeni içerir.

LED Modüller (Işık Kaynağı):Yüksek güçlü LED çipleri kullanılır. Genellikle soğutucu levhalar (alüminyum PCB) üzerine monte edilir. Işık rengini ve şiddetini belirleyen en önemli kısımdır.

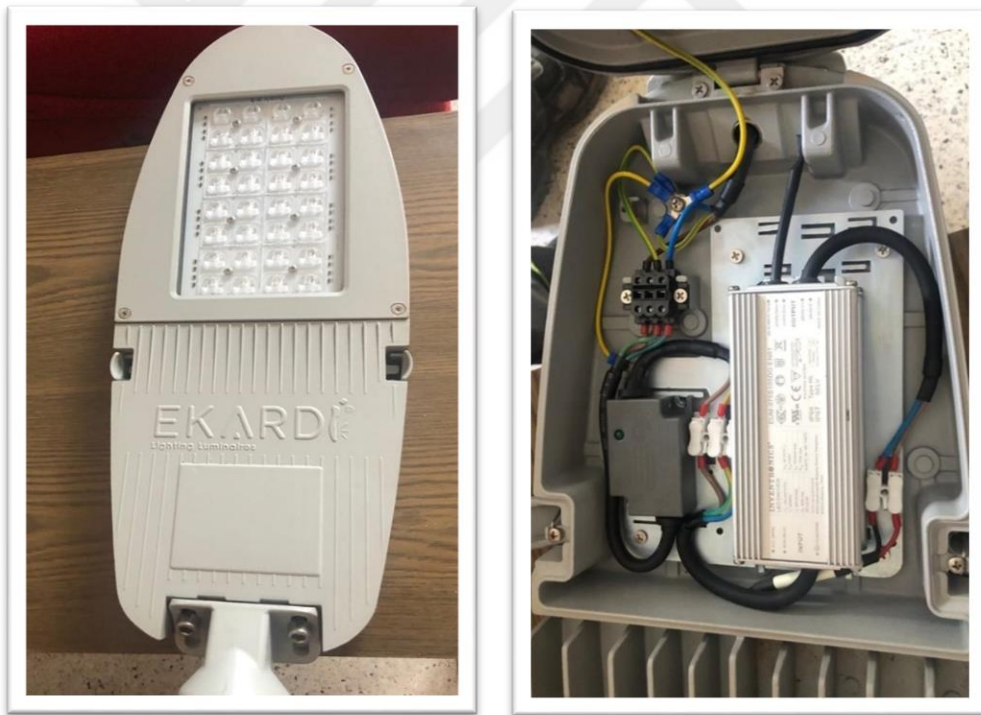
Sürücü Devresi (LED Driver):AC 220V şebeke gerilimini, LED'lerin çalışabileceği düşük doğru gerilime (DC 12–48V) çevirir. Aynı zamanda akımı sabitler (constant current driver).Aşırı gerilim, aşırı akım ve ısınmaya karşı koruma devresi içerir.

Soğutma Sistemi: Yüksek güçlü LED'ler ciddi ısı üretir. Alüminyum gövde ve bazen pasif soğutucu kanatlar kullanılarak ısı dışarı atılır. Termal yönetim çok önemlidir çünkü sıcaklık ömrü ciddi şekilde etkiler.

Lens ve Reflektörler: Işık dağılımını optimize eder. Özel optik lensler sayesinde yola düzgün dağılmış, kamaşma yapmayan ışık sağlanır. Farklı açılar için farklı lens dizaynları vardır (örneğin 60°, 90°, 120°).

Gövde ve Koruma: Genellikle IP65 veya üzeri korumaya sahiptir (suya ve toza dayanıklı). Dış kasa alüminyum döküm veya paslanmaz malzemedir. Üzerinde genellikle şeffaf cam ya da polikarbonat koruyucu yer alır.

Yüksek enerji verimliliği, uzun ömür (50.000-100.000 saat arası), darbe ve titreşimlere dayanıklı, düşük bakım gereksinimi nedeniyle yaygın olarak tercih edilir. Renk seçenekleri ve aydınlatma kontrolü ile esneklik sağlarlar. Ayrıca etkinlik faktörleri yüksek olup yüksek parlaklıkları ile çok küçük görme açılarında dahi görülebilirler. Öte yandan ilk yatırım maliyetleri çok yüksektir.



Şekil 26. LED armatür

LED armatürlerin avantajları

- **Düşük Enerji Tüketimi:** Bu tip armatürlerde genellikle düşük gerilim kullanıldığından ve enerjilerinin büyük bir kısmı, enkandesan armatürlerde

olduğunun aksine ısıya dönüşmediği için enerji tüketimleri az ve verimleri yüksektir.

- **Uzun Ömür:** LED'ler genellikle uzun ömürlüdür, diğer aydınlatma teknolojilerine kıyasla daha az sıklıkta değiştirilmesi gerekir. (50.000-100.000 saat arası)
- **Çevre Dostu:** LED'ler cıva veya kurşun gibi zararlı maddeler içermez ve geri dönüşüme uygundur, bu nedenle LED armatürler çevre dostu bir seçenektir.
- **Anında Aydınlatma:** LED'ler anında ışık verir ve titreşimsiz bir şekilde çalışır, bu da hemen aydınlatma sağlar.
- **Renk Seçenekleri:** LED'ler geniş bir renk yelpazesi sunar ve renk sıcaklığını kontrol etmek kolaydır, bu da aydınlatmayı kişiselleştirmeye olanak tanır.
- **Dirençli ve Dayanıklı:** LED'ler titreşimlere, darbelere ve soğuk sıcaklıklara karşı daha dayanıklı olması uzun ömürlü olmalarında etkilidir.

LED armatürlerin dezavantajları

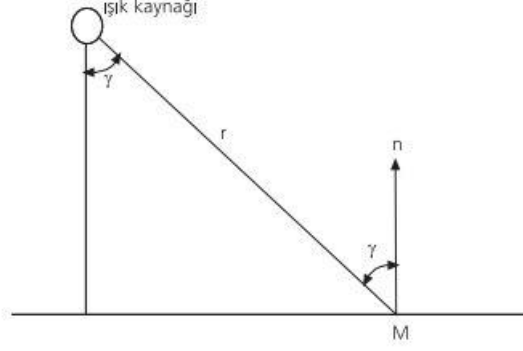
- **Başlangıç Maliyeti:** LED armatürlerin ilk yatırım maliyeti, geleneksel aydınlatma sistemlerine göre daha yüksek olabilir. Ancak, bu maliyet, uzun vadeli enerji tasarrufu ve düşük bakım maliyetleri ile telafi edilebilir.
- **Sensörlerle İlgili Sorunlar:** Bazı durumlarda, LED armatürlerin otomatik sensörleri yanlış çalışabilir veya istenmeyen şekilde tepki verebilir.
- **Isı Problemleri:** Yüksek güçte çalışan LED'ler, ısı üretebilir. Bu nedenle, uygun soğutma sistemlerine ihtiyaç duyabilirler. Ancak, teknolojiye gelişmelerle birlikte bu sorun giderek azalmaktadır.
- **Renk Ayarlarının Karmaşıklığı:** Renk sıcaklığını ve diğer aydınlatma parametrelerini kontrol etmek için bazı LED armatürlerde karmaşık ayarlar bulunabilir, bu da kullanıcılar için zorlu olabilir.
- Herhangi bir aydınlatma sistemi seçerken, özel gereksinimleri ve kullanım koşullarını dikkate almak önemlidir.

Aydınlatma hesabı

Aydınlatma hesabı, bir alanın ihtiyacı olan ışık düzeyini belirlemek için yapılan mühendislik hesaplamasıdır.

Noktasal yöntemle aydınlık düzeyi hesabı

Özellikle yatay yüzeylerde aydınlatma yöntemi için uygundur ve sokak aydınlatma armatürlerinin karakteristik eğim açılarını hesaba katar,



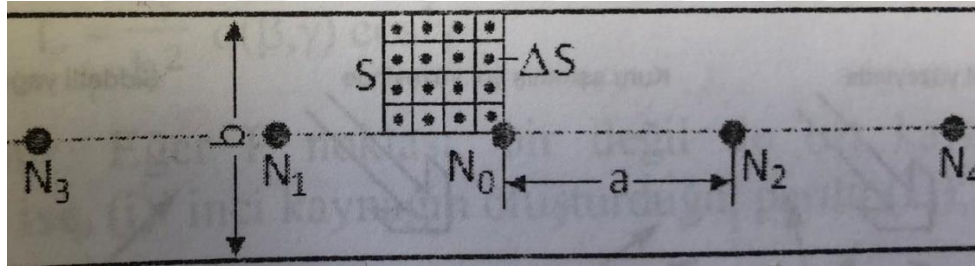
Şekil 27. Noktasal ışık kaynağı ile yatay düzlemin aydınlatılması

$$E = \frac{I_\gamma}{r^2} \cos \gamma, \quad \cos \gamma = \frac{h}{\sqrt{a^2 + h^2}} \dots\dots\dots 22$$

$$E = \frac{I_\gamma}{h^2} \cos 3\gamma \dots\dots\dots 23$$

E:Aydınlık düzeyi, I:Işık Şiddet, γ :Armatürden gelen ışığın yüzeye geliş açısı,
r:Armatür ile aydınlatılan nokta arasındaki mesafe

Işık şiddetinin sabit kabul edildiği ΔS kısmi alanlara bölünür ve boyutu armatür yüksekliğine bağlıdır.



Şekil 28. Noktasal aydınlatma hesabında S ölçü alanı ve ΔS kısmi alanlar

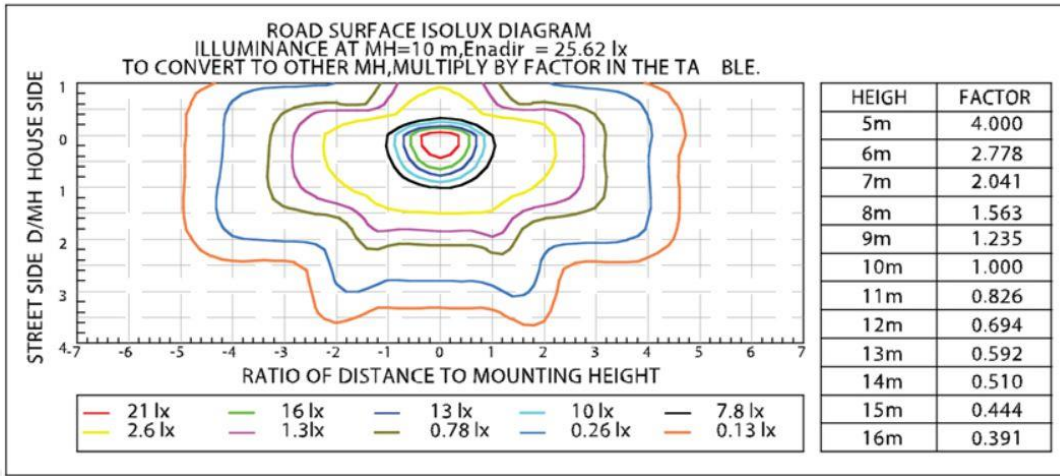
Kısmi alanların merkezinin aydınlık seviyeleri, noktasal aydınlatma formülüyle hesaplanır ve varsa komşu armatürlerin sağladığı aydınlık seviyeleri de bu yöntemle hesaplanır. Yol aydınlatmasında komşu armatürlerin etkisi %12-%20 arasındadır. Şekil 28' de S ölçü alanı dikkate alınarak N_0 armatürü tarafından aydınlatılır. N_1 ve N_2 nin etkileri küçük N_3 ve N_4 ün etkileri çok küçüktür ve çoğu zaman etkileri iptal edilebilir (Özkaya ve Tüfekçi, 1994).

$$E_0 = \sum_{i=1}^n E_i \dots\dots\dots 24$$

E_0 :Düzlemin ortalama aydınlık seviyesi, ΔS_i :Kısmi alanın aydınlık seviyesi

Buradaki kısmi alanlar eşit büyüklüktedir. Kısmi alanların aydınlık seviyeleri doğrudan doğruya plan üzerine yazılır ve eş aydınlık düzeyli noktalar birbirleriyle birleştirilirse izolüks eğrileri (eş-aydınlık eğrileri) elde edilir. Ölçü alanı içindeki E_{min} ve E_{max} değerleri de okunup, $\delta_1 = E_{min}/E_0$ ve $\delta_{12} = E_{min}/E_{max}$ düzgünlük faktörü bulunur (Özkaya ve Tüfekçi, 1994).

Eş aydınlık düzey diyagramı, belirli bir ışık kaynağından yayılan aydınlık düzeylerinin (lüks cinsinden) zeminde veya bir yüzeyde nasıl dağıldığını gösteren bir diyagramdır. Bu diyagramlar, özellikle iç ve dış mekân aydınlatma tasarımlarında kullanılır.



Şekil 29. Eş aydınlık düzey diyagramı örneği

Her bir eğri, aynı eş aydınlık düzeylerine ve lüks değerine sahip noktalar çizgiler halinde birleştirilir. Işık yayan armatürün montaj yüksekliği dikkate alınır. Bu diyagram, bir yol yüzeyine monte edilmiş 10 m yüksekliğinde bir sokak lambasının, çevresine ne kadar aydınlık sağladığını görselleştirmektedir.

Armatürün ışık yayan yüzeyinin merkez noktası (0,0) alınmıştır. (0,0) noktasının üst bölgesi kaldırım tarafı, alt bölgesi ise yol tarafı olarak etiketlenmiştir. X ve Y eksenlerindeki pozitif ve negatif sayılar (-7,-6,-5...0,1,2,3..) ise armatür montaj yüksekliği cinsinden belli noktalardaki aydınlık düzeylerini belirlemeye yarar. Örneğin yol tarafı (1,1) noktası, armatüre göre 10 metre sağ ve 10 metre aşağıdaki noktayı belirtir. Bu noktadaki aydınlık düzeyini bulmak için o noktaya en yakın eş aydınlık düzeyi eğrisi kullanılır. Eş aydınlık düzeyi eğrilerinin değerleri diyagramın altında verilmiştir. Farklı yükseklikteki armatürler için diyagramın sağında bulunan çevrim tablosu kullanılır. Örneğin 5 metre yükseklikteki bir armatür için bulunan aydınlık düzeyi 4 ile çarpılır (Özkaya ve Tüfekçi, 1994).

Sokak armatürlerinin aydınlatma hesabında, aydınlık düzeyi, (lüx) parıltı-düzgünlük, kamaşma kontrolü ve aydınlatma düzeyi dağılımı da önem kazanır.

Parıltı yöntemiyle yol aydınlatma hesabı

Parıltı yöntemi, özellikle yol aydınlatmasında sürücünün görüşünü esas alan, insan odaklı bir aydınlatma hesaplama yöntemidir. Bu yöntemde temel amaç, yolda sürücünün gördüğü parıltıyı (cd/m^2) esas alarak konforlu ve güvenli bir görüş sağlamaktır.

Parıltı Yöntemiyle Yol Aydınlatma Hesabının Temel Adımları:

- Yol Geometrisi: Genişlik, şerit sayısı, bordür vb.
- Armatür Özellikleri: Işık dağılım eğrileri (LDT/IES dosyaları), montaj yüksekliği, armatür tipi, eğimi.
- Yüzey Özellikleri: Yol yüzeyinin yansımaya karakteristiği (CIE sınıfları: R1, R2, R3, R4).
- Gözlem Noktası: Sürücünün göz yüksekliği (tipik olarak 1,5 m), bakış açısı (CIE 60 m önündeki noktayı baz alır).
- Armatür Yerleşimi: Tek taraflı, çift taraflı, karşılıklı veya orta

L:Lambert yasasına göre ışık yayan bir düzlemin (cd/m^2) cinsinden parıltısı

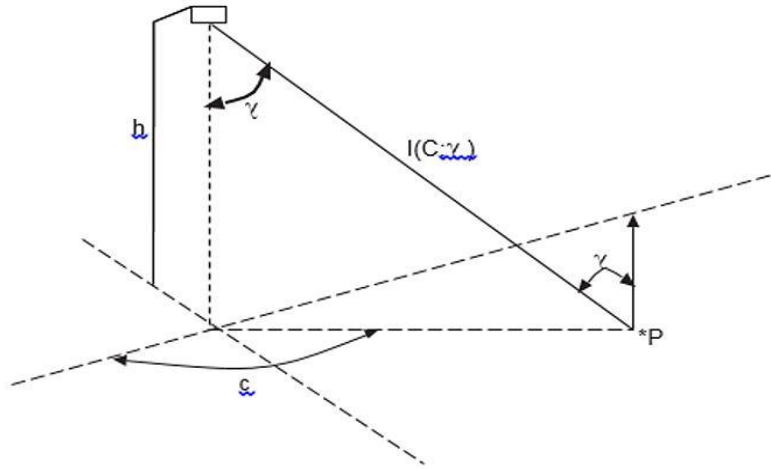
E:Aydınlık Seviyesi

q:Parıltı Faktörü (Yol yüzeyi ideal dağıtıcı ise $q = \rho/\pi$)

Herhangi bir noktanın parıltısı : $L=q.E$

Parıltı faktörü, teorik olarak (α, β, γ) 'ya bağlıdır.

Bir sürücü için önündeki 60m-160m uzaklık önemlidir ve gözü 1,5m yüksektedir.



Şekil 30. Parıltı faktörü

α :Gözlem açısı(0,5 derece ile 1,5 derece arasındadır. Değişim çok az olduğundan 1derece kabul edilir)

β :Işığın geldiği düzleme gözlem düzleminin yaptığı açı

γ :Işığın geliş açısı

h:metre cinsiden ışık noktası yüksekliği

$$L=q.E \quad , \quad E=\frac{I_{\gamma}}{h^2} \cos 3\gamma \dots\dots\dots 25$$

Eğer P noktası ,bir değil de (n) daha fazla kaynak tarafından aydınlatılıyor ise (i)'inci kaynağın oluşturduğu parıltı

$$Li = \frac{I_{\gamma i}}{h^2} q(\beta i, \gamma i) \cos 3_{\gamma i} \dots \dots \dots 26$$

$r(\beta i, \gamma i)$: indirgenmiş parıltı faktörü.

$$Li = \frac{I_{\gamma i}}{h^2} r(\beta i, \gamma i) \cos 3_{\gamma i} \dots \dots \dots 27$$

P noktasında oluşacak parıltı:

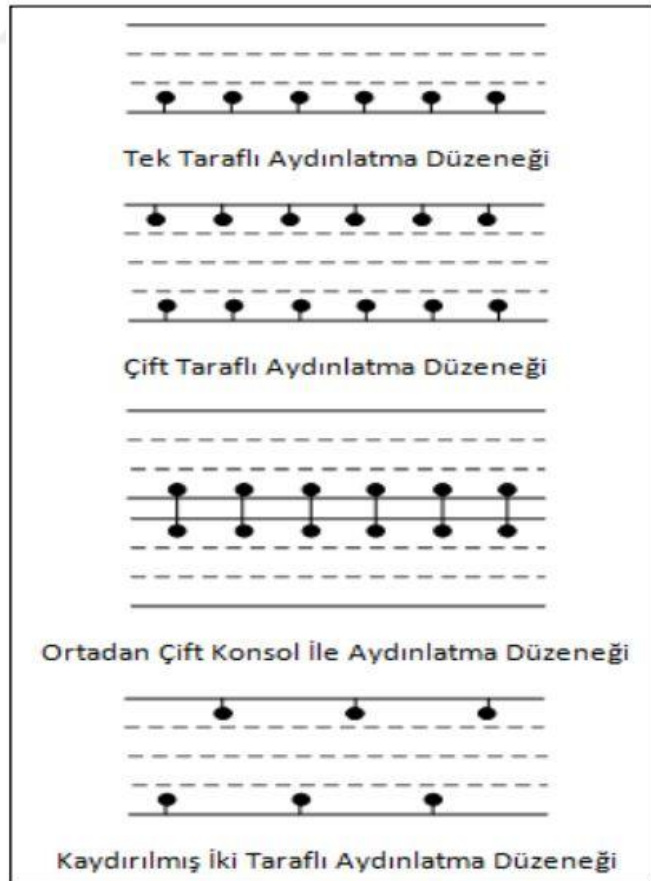
$$L = \sum_{i=1}^n Li \dots \dots \dots 28$$

Yol ve aydınlatma sınıfının belirlenmesi

Sokak aydınlatmasında direk yerleşimi; yolun tipi, genişliği, trafik yoğunluğu ve estetik kriterlerine göre belirlenir.

Tek Taraflı Yerleşim: Dar ve tek yönlü yollarda kullanımı söz konusudur. Her ne kadar aydınlatma eşit bir şekilde dağılmıyorsa da daha düşük maliyetli olması tercih edilmesinin başat sebebidir.

Karşılıklı Yerleşim: Geniş ve çift yönlü yollarda kullanımı söz konusudur. Daha homojen aydınlatma ve yüksek görsel konfor sağlar. Direkler yolun her iki tarafına, birbirine karşılıklı yerleştirildiğinden karanlık bölgeler daha azdır.



Şekil 31. Yol aydınlatma armatürleri yerleşim planı seçenekler

TEDAŞ yol aydınlatmasında sınıf belirlenmesi yolun türüne, kullanım yoğunluğuna ve trafik güvenliğine bağlı olarak yapılır. Bu sınıflandırma genellikle TEDAŞ Teknik Şartnamesine uygun şekilde gerçekleştirilir. Öncelikle yolun sınıfı ve ona uygun aydınlatma sınıfı (örneğin ME1, ME2, ME3b vs.) seçilir.

TEDAŞ'ın yayınlamış olduğu TEDAŞ-MYD/95-009.B Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi

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

Şekil 32. Yol aydınlatma armatürleri yerleşim planı seçenekler

Aydınlatma sınıfı	$L_{ort} \geq$	$U_o \geq$	$U_l \geq$	$TI (\%) \leq$	$SR \geq$
M1	2.0	0.4	0.7	10	0.5
M2	1.5	0.4	0.7	10	0.5
M3	1.0	0.4	0.5	10	0.5
M4	0.75	0.4	0.5	15	0.5
M5	0.50	0.35	0.4	15	0.5
M6	0.30	0.35	0.4	15	-

Burada;

L_o : Yolun ortalama parıltısı (cd/m^2)

U_o : Ortalama düzgünlük ($U_o = L_{min}/L_{ort}$)

U_l : Boyuna düzgünlük ($U_l = L_{min}/L_{maks}$)

TI : Bağlı eşik artışı ($TI = \{\Delta L_K - \Delta L_c\} / \Delta L_c$).

SR : Çevreleme oranı

Şekil 33. Yol aydınlatması kriterleri

Yol aydınlatması kriterleri

Yolun Ortalama Parıltısı (luminance): Yüzeye düşen ışığın sürücünün görüş yönünde yoldan yansıyarak göze ulaşan kısmını ifade eder. Aydınlatma tasarımında bu yolun gözle algılanan parlaklığı olarak değerlendirilir ve genellikle (motorlu taşıt yolları) için temel kriterlerden biridir. $L=q.E$

Ortalama düzgünlük (Uniformity of Illuminance or Luminance): Bir yol yüzeyinin aydınlatma veya parıltı açısından ne kadar homojen aydınlatıldığını ifade eder. Aydınlatma sistemlerinde bu kavram, karanlık bölgeler ile aydınlık bölgeler arasındaki farkı en aza indirmek için önemlidir. Emin/Emax

Boyuna düzgünlük (Longitudinal Uniformity): Yol boyunca, sürücünün bakış doğrultusunda oluşan en karanlık ve en aydınlık noktalar arasındaki oran. Yol boyunca (sürüş yönünde) aydınlık ya da parıltının ne kadar homojen dağıldığını ifade eder. Özellikle sürücüler için yol şeridinin önünde oluşan aydınlatma şeritlerinin fark edilmemesi, güvenli sürüş açısından çok önemlidir.

Bağıl eşik artışı (Threshold Increment): Yol üzerindeki ışık kaynaklarının neden olduğu bozulmuş görüş (parlama) nedeniyle, sürücünün bir nesneyi fark edebilmesi için gereken kontrast artışını ifade eder. Basitçe yoldaki parlamanın göz üzerindeki rahatsız edici etkisini yüzde (%) olarak ifade eder.

Çevreleme Oranı (SR): Aydınlatılmış bölgenin çevresindeki alanların ne kadar aydınlatıldığını gösterir. Yani bir yolun ya da yaya yolunun kenar bölgelerinde kalan kısımların da yeterli düzeyde aydınlatılıp aydınlatılmadığını ölçer. Görsel konfor ve güvenlik için yol çevresinde çok karanlık alanlar oluşmamasını sağlamaktır. Aydınlatılmış alanın çevresindeki ortalama yatay aydınlık düzeyinin (lux) aydınlatılmış ana alanın ortalama yatay aydınlık düzeyine(lux) oranı SR değerini vermektedir.

Türkiye’de yüksek basınçlı sodyum buharlı armatür kullanan 21 dağıtım şirketi kademeli olarak LED armatür kullanımına geçmeye başlamıştır. Aşağıdaki tablolarda TEDAŞ’ın yayınlamış olduğu TEDAŞ-MYD/95-009.B Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi ve LED teknik şartnamesi dikkate alınarak hazırlanmıştır.

Lamba gücü (W)	Aydınlatma düzenekleri	Aydınlatma sınıfı	Şerit sayısı	Şerit genişliği min. (m.)	Refüj genişliği min. (m.)	Direkler arası açıklık min. (m.)
70	-Soldan tek taraflı -Sağdan tek taraflı	M4	2	3.5	-	28
100	-Soldan tek taraflı -Sağdan tek taraflı	M3	2	3.5	-	28
150	-Karşılıklı -Kaydırılmış	M2	4	3.5	-	40
250	-Refüjden çift konsollu karşılıklı -Refüjden çift konsollu kaydırılmış	M1	2x3	3.5	2	48
400	-Refüjden çift konsollu karşılıklı -Refüjden çift konsollu kaydırılmış	M1	2x5	3.5	2	55

Şekil 34. TEDAŞ MYD’de geçen yol sınıfları

Yol Yüzeyi Sınıfları: Yol aydınlatması tasarımında kullanılan ve yol yüzeyinin ışığı yansıtma özelliklerini tanımlayan sınıflardır. Türkiye’de TEDAŞ (Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.), bu sınıflandırmayı EN 13201-3 standardına uygun olarak kullanır. Yol yüzeyi, üzerine düşen ışığın bir kısmını yansıtır. Bu yansıma özelliği, yolun parlaltı (luminance) değerini etkiler. Tasarım ve simülasyonlarda doğru sınıf seçilmezse aydınlatma yetersiz kalabilir ya da gereksiz enerji harcanabilir. Asfalt, beton ve çakıl malzemelerle tanımlanır. Yol yüzeyi sınıfına göre bir analiz yaptırılmışsa ilgili sınıf kullanılır. Yol yüzeyi sınıfına göre herhangi bir bilgi bulunmaması durumunda yol yüzeyi sınıf bilgisi R3 olarak alınır.

Sınıf	Q _o Değeri	Yüzey Tanımı
R1	0.07	Koyu renkli, pürüzlü asfalt (çok az yansıtır)
R2	0.10	Açık renkli, orta düzey yansıtan asfalt
R3	0.07	Beton veya kaplama taşı (daha düzgün yüzey)
R4	0.12	Parlak, düzgün yüzeyli asfalt veya beton

Şekil 35. Yol yüzey sınıfları

Armatür Sınıfı	Sınıf 1	Sınıf 2	Sınıf 3	Sınıf 4	Sınıf 5	Sınıf 6	Sınıf 7	Sınıf 8	Sınıf 9	Sınıf 10	Sınıf 11	Sınıf 12	Sınıf 13	Sınıf 14	Sınıf 15	Sınıf 16	Sınıf 17
Aydınlatma Düzenekleri	Refüjden veya Karşıklı veya Kaydırılmış	Refüjden veya Karşıklı veya Kaydırılmış	Refüjden veya Karşıklı veya Kaydırılmış	Refüjden veya Karşıklı veya Kaydırılmış	Refüjden veya Karşıklı veya Kaydırılmış	Refüjden veya Karşıklı veya Kaydırılmış	Sağ/Sol Tek taraflı	Refüjden veya Karşıklı veya Kaydırılmış	Refüjden veya Karşıklı veya Kaydırılmış	Refüjden veya Karşıklı veya Kaydırılmış	Sağ/Sol Tek taraflı	Karşıklı veya Kaydırılmış	Sağ/Sol Tek taraflı	Sağ/Sol Tek taraflı	Sağ/Sol Tek taraflı	Sağ/Sol Tek taraflı	Sağ/Sol Tek taraflı
Yol Aydınlatma Sınıfı	M1	M1	M1	M2	M2	M2	M2	M3	M3	M3	M3	M4	M4	M4	M5	P2	P3
Şerit Sayısı	2x4	2x3	2x2	2x4	2x3	2x2	3	2x4	2x3	2x2	3	4	3	2	2	2	1
Şerit Genişliği (m)	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Sarkma (m)	0 ila +2	0 ila +2	0 ila +2	0 ila +2	0 ila +2	0 ila +2	0 ila +2	0 ila +1	0 ila +1	0 ila +1	0 ila +1	0 ila +1	0 ila +1	0 ila +1	0 ila +1	0 ila +1	0 ila +1
Direk Boyu (m)	14 12	14 12	12 10	12 10	12 10	12 10	12 10	12 10	12 10	12 10	10	10	10	10 8	8	8 6	8 6
Refüj Genişliği Maks.(m)	3	3	3	3	3	3	-	3	3	3	-	-	-	-	-	-	-
Bakım Faktörü	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Yol Yüzeyi Sınıfı	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	-	-
Minimum Direk Açıklığı (m)	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	38	40	38	38	36	30	22

Not1: Sarkma değerleri 1 m'nin katları olacak şekilde belirlenir.
Not2: Konsol açısı 0 derece olacaktır.
Not3: Kavşak aydınlatmasında ilgili yol tipi için konsol sayısı artırılabilir.
Not4: Refüjün 3 m den fazla olduğu durumlarda yollar ayrı değerlendirilir. Armatür tasarımında refüj genişliği 3m olarak alınacaktır.
Not5: Çizelgede bulunan yol aydınlatma sınıfları, bakım faktörü dışındaki farklı özel durumlar için standartlar çerçevesinde projelendirilebilir.

Şekil 36. Armatür sınıfları

ARAşTIRMA BULGULARI VE TARTIşMA

Pilot bölge olarak seçilen Erzurum ili Yakutiye İlçesi Terminal Caddesi, bünyesinde çok sayıda kafe-restoran ve ilin en büyük alış-veriş merkezini bulunduran, birçok yol güzergahının geçtiği ve gece de aktif yaşamın devam ettiği Erzurum'un en işlek caddelerinden biridir. Pilot bölge olarak seçilmesinin sebebi hem sosyal hayatın hem de yol güzergahlarının ortak paydada buluşması ve aynı zamanda bu caddenin İmar Planı ile halihazır yerleşimin birbiriyle örtüşmesidir. Bu caddede yer altı projeleri(aydınlatma) oturmuş İmar Planı üzerinden çizilebilmektedir. Çalışmada Erzurum ili Yakutiye İlçesi Terminal Caddesi Google Earth görüntüsü üzerinden mavi renkle işaretlenmiştir (Şekil 38).



Şekil 37. Terminal caddesi mesai çıkış görüntüsü



Şekil 38. Çalışma alanı google earth görüntüsü (Erzurum Terminal Caddesi)

Bu çalışmada seçilen pilot bölge üzerinden sodyum buharlı armatür ile LED armatür için ayrı ayrı proje çizilmiş ve bu projelerin teknik hesapları ve maliyetleri karşılaştırılmıştır. Bölgenin aydınlatılması için TM-1'e bağlı 1999 yılında tesis edilmiş DM 8-23 (TR17420) numaralı trafodan enerji alınmaktadır. Bölge Galvaniz poligon çelik direkli (2-120/15) LED armatür ile tesis edilmiştir. Program olarak b-pro proje çizme programı kullanılmış olup aydınlatma hesapları için dialux programı kullanılmıştır.

Terminal caddesine en uygun aydınlatmanın tasarlanabilmesi için Dialux aydınlatma programı ve b-PRO proje çizme programı kullanılmıştır. Yüksek basınçlı sodyum buharlı aydınlatma armatürü ile LED aydınlatma armatürü için aynı programlarda farklı proje çizimi yapılarak belirli teknik kıstaslar öncülüğünde kıyaslamalar yapılmıştır.



Şekil 39. Yüksek basınçlı sodyum buharlı ve LED armatürler

Projemizde pilot bölge seçilen Terminal Caddesi'nin İmar Planı üzerinden yolun fiziksel özellikleri tespit edilerek için teknik şartnamelere göre kıyaslayarak

Halka açık ana yollar uzun zamandan beri sodyum buharlı armatürler ile aydınlatılmaktadır. Genel Aydınlatma Yönetmeliği'nde "Genel aydınlatma kapsamında yapılacak olan halkın ücretsiz kullanımına açık ve kamuya ait park, bahçe, tarihî ve ören yerlerinin aydınlatılması ile trafik sinyalizasyonu hariç, genel aydınlatma kapsamında yapılacak olan aydınlatma yatırımları, EPDK tarafından onaylanan yatırım planına uygun olarak aydınlatma komisyonunun vereceği karar çerçevesinde dağıtım şirketince yapılır." denmektedir. Bu madde gereğince caddelerin aydınlatması bölgenin dağıtım şirketi olan Aras Elektrik Dağıtım A.Ş. tarafından aydınlatma yapılmaktadır (Elektrik Dış Aydınlatma Yönetmeliği, 2025).

Çalışma için seçilen pilot bölge Aras Elektrik Dağıtım A.Ş. 'nin sorumluluk alanında olduğu için aydınlatma projeleri Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayınlanan mevzuata uygun yapılmak zorundadır. Bu kapsamda ilgili yönetmelik ve teknik şartnamedeki kriterlere uygun yazılım geliştirilerek armatürün azami güç bilgisi elde edilmektedir. (her türlü armatür için) Bu geliştirilen yazılım Dialux Programı'dır.

Dialux Programı ve Kullanım Amacı

Dialux programı, aydınlatma projeleri tasarlamak ve simüle etmek için kullanılan profesyonel bir yazılımdır. Mimarlar, elektrik mühendisleri, aydınlatma tasarımcıları ve iç mimarlar tarafından yaygın olarak tercih edilir.

Dialux programının diğer programlara göre avantajlarını şöyle sıralayabiliriz:

- Güncel armatür dosyaları programa kolayca entegre edilebilir.
- 3D modelleme yöntemiyle iç ve dış mekan aydınlatma gerçekçi aydınlatma simülasyonları yapılabilir.
- Gölge, ışık dağılımı, yansıma gibi detaylar yüksek doğrulukla hesaplanır.
- Lüks seviyeleri, enerji analizleri ve armatür yerleşim planları otomatik hazırlanır.
- AutoCAD dosyaları(DWG/DXF) içe ve dışa aktarılabilir.
- Lisans ücreti olmadan profesyonel projeler hazırlanabilir.

- Konsol uzunluğu, direk eğimi (şayet varsa) gibi detayları ayarlanır.
- Direkler arası mesafe (mesela 35 metre) ayarlanır.
- Tek taraflı, çift taraflı, çapraz, karşılıklı dizilim gibi konfigürasyonlar seçimi yapılır.

Hesaplama Alanı Ayarlanır:

- Hangi ölçümlerin alınmak istendiği belirtilir: Ortalama aydınlık düzeyi (E_{mean}), uniforme (U_o), parlıltı (L_{mean}), vs.
- Parlaklık kotası konularak test edilebilir.

Hesaplama Başlatılır:

- “Hesapla” butonuna basıp tüm ışık dağılımını ve standartlara uygunluk analizleri alınır.

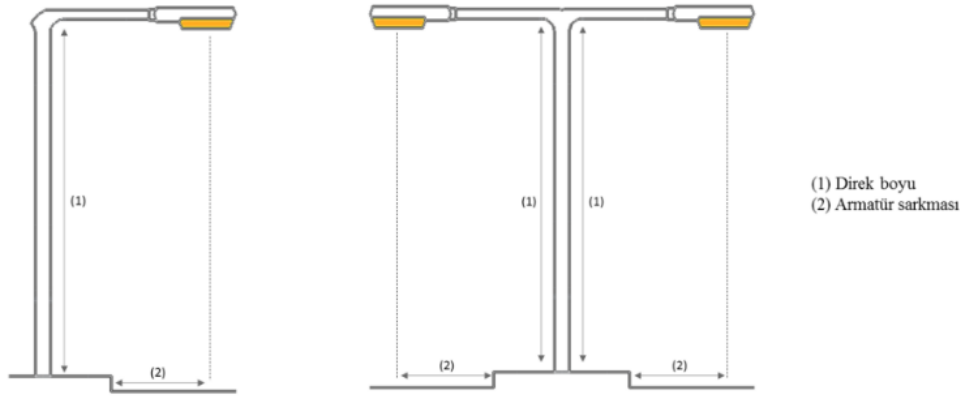
Raporlama Yapılır :

- Proje sonunda DIALux tarafından detaylı bir rapor hazırlanır.
- Bu raporda armatür bilgileri, ışık seviyeleri, enerji tüketimi, uniforme değerleri gibi bilgiler bulunur.
- PDF ya da Word formatında dışa aktarıp alınabilir.

Dialux programında planlama sekmesinde yol bilgisi, ışıklık seçimi yapılarak şartname standartlarına göre hangi güçte armatür kullanılacak tayin edilir. Program şartname değerlerini veri tabanından alarak tanımlanan yollarda değerlendirme alanında minimum değerlerine göre kıyaslama yapmaktadır.

Proje çalışmasını yaptığımız Terminal Caddesi 2x2 şeritli yol olup, bu caddede kullanılan direk boyu 12 metredir. Aydınlatma tasarımına ilişkin usul ve esaslara göre yol sınıfları M3 olarak seçilmiştir. Yol düzenekleri göz önünde bulundurulduğunda Terminal Caddesi için en uygun aydınlatma refüjden çift konsollu tek sıra halinde aydınlatmadır. Mevcut durumda caddenin aydınlatması da bu şekildedir. Dialux aydınlatma programına caddenin en uygun armatür ile aydınlatılması için bu bilgiler girilmiştir.

Aydınlatma direkleri ile tek yönlü veya çift yönlü aydınlatma yapılmaktadır. Aydınlatma direğine tek konsol ile armatür takılırsa AD-1 çift konsol ile çift yönlü aydınlatma takılırsa AD-2 diye isimlendirilir.



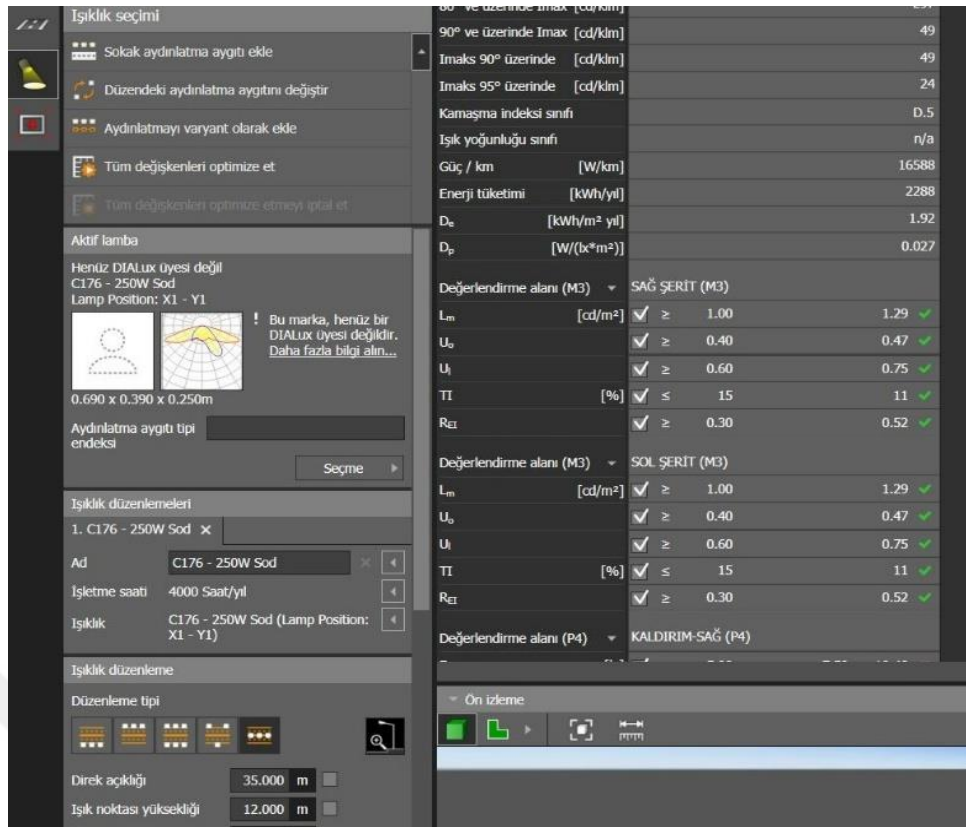
Şekil 41. Armatür konsol düzenekleri

Çalışmamızda çift konsolu çelik poligon direk kullanılmıştır.



Şekil 42. Galvaniz poligon çelik direkler

Uygun güçte armatür seçimi için 35 mt direk arası mesafesi, direk boyu 12 mt ,konsol açısı şartname doğrultusunda 15 derece girilmiştir. Terminal caddesinin belediye tarafından onaylı imar planı üzerinde ölçüm yapılarak sağ-sol şerit 12 mt ,orta şerit 3 mt dir. Bu bilgiler doğrultusunda yol sınıfı:M3, Aydınlatma sınıfı P4 seçilmiştir. Sodyum Buharlı Armatür için bakım çarpanı 0,67 alınmıştır.



Şekil 43. Dialux şartname kıyas ekranı (YBSBL)

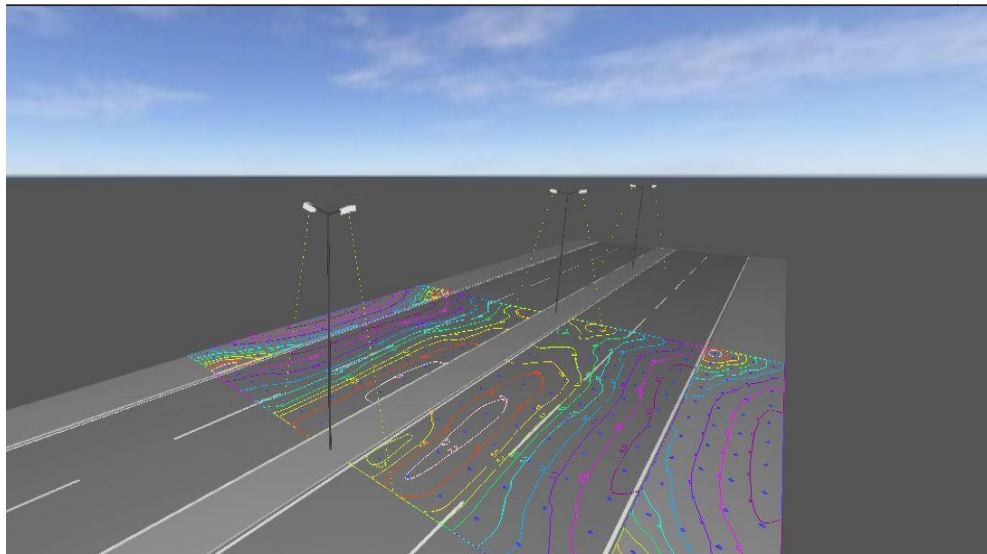
Sodyum buharlı armatür için şartname özelinde dialux programında karşılaştırma yapılmıştır. Armatür bilgileri, ışık seviyeleri, enerji tüketimi karşılaştırılmıştır.

Ortalama parlaklık (L_{mean})=1 cd/m²

Uniformite (U_0) $\geq 0,4$

Parlama Limiti(TI) $\leq$ %10

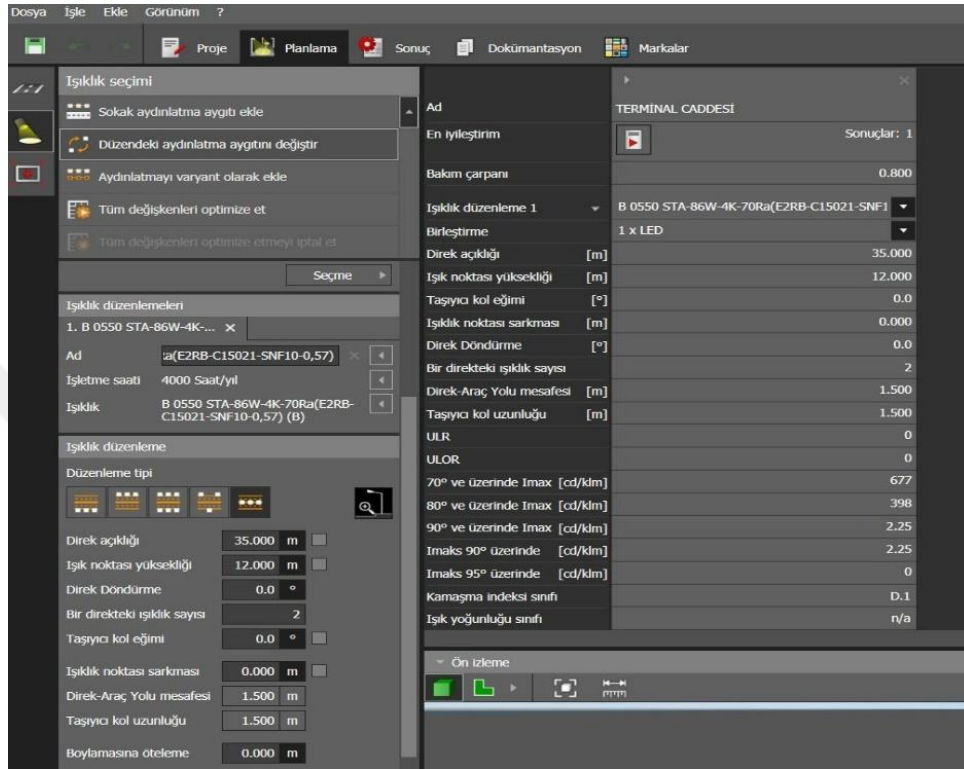
Şartname değerleri ile proje değerlerini kıyaslayan program uygunluk vermektedir.



Şekil 44. Dialux programında ışık dağılım simülasyonu (YBSBL)

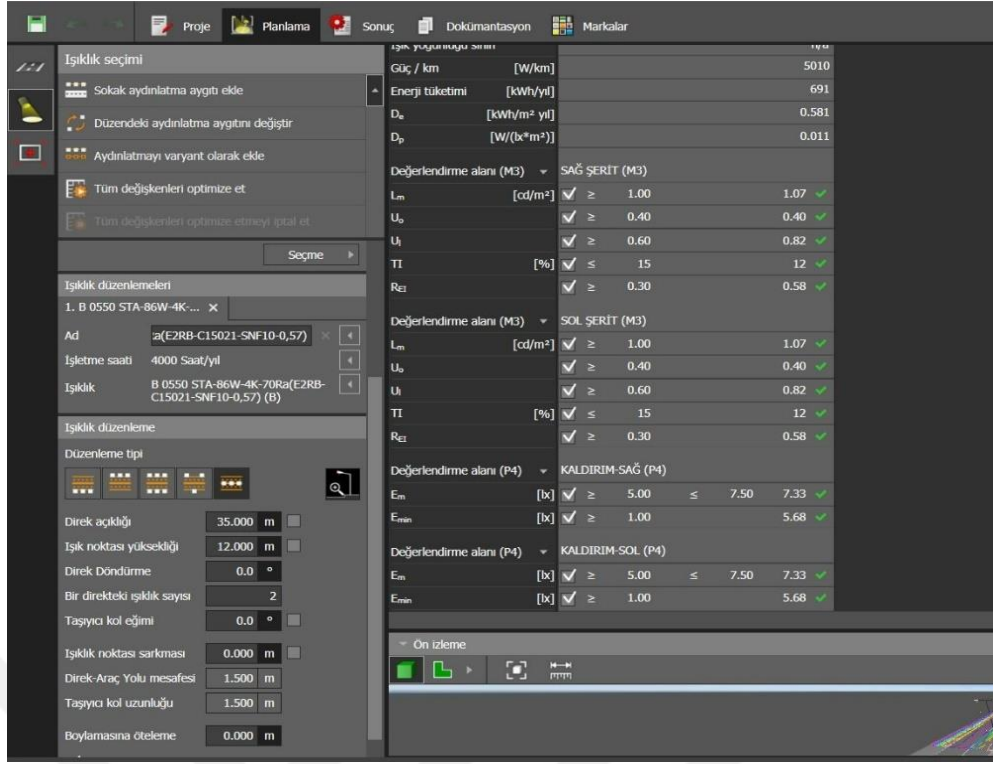
Renkler, aydınlık seviyelerini gösterir. (kırmızı = aşırı aydınlık, mavi = karanlık). Sokak lambalarının yol zeminini nasıl aydınlatıldığı görülür. Gerçekçi gece görünümü yapılabilir. Noktasal lux değerleri ve parlaklık değerleri görülebilir.

Terminal Caddesi için yol bilgileri ve 12 metre boyunda direklerle yapılan aydınlatma hesapları ve simülasyon doğrultusunda 250 w armatür kullanılması gerektiği anlaşılmıştır.



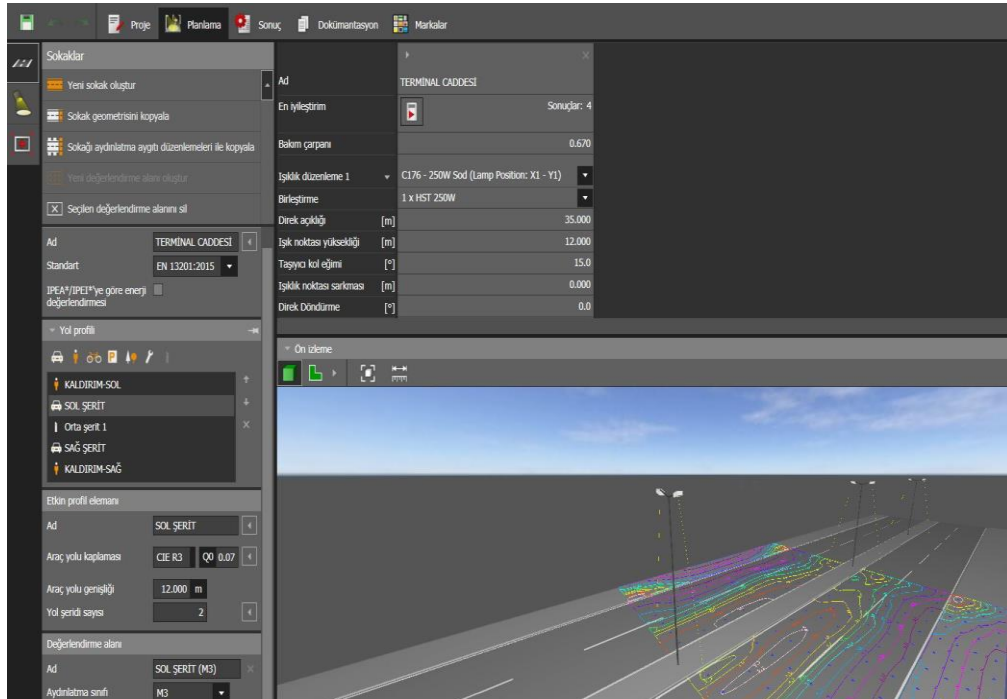
Şekil 45. Dialux programı yol ve ışıklık seçimi (LED)

Kullanılan lambanın ışık akısı, bakım-işletme faktörü, armatürün ışık dağılım tablosu, armatürün eğim açısı ve armatürün fotometrik ölçüm değerleri dikkate alınır. Dialux programına veri girişine caddenin fiziki değerleri onaylı imar planı üzerinden ölçüm yapılarak veri ekranına aktarılmıştır.



Şekil 46. Dialux şartname kıyas ekranı (LED)

LED armatür için de yolun fiziksel yapısına dair bilgiler: Şerit sayısı 2x2, Şerit Genişliği 12 m, Orta Refüj Genişliği 3 m ve Şehir içi yollar (bulvarlar ve caddeler): $50 \text{ km/h} \leq \text{Hız} < 90 \text{ km/h}$; 3 km'den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı yok, orta refüjden aydınlatma, direkler arası yatay uzaklık (direk ara mesafesi) 35 m, ışııklık yüksekliği (direk boyu) 12 m, konsol boyu 1,5 m, konsol açısı 15 derece seçilmiştir.



Şekil 47. Dialux programında ışık dağılım simülasyonu (LED)

LED armatür için bu programda veri ara yüzündeki Yol Aydınlatmaları Teknik Şartnamesinde belirtilen değerler doğrultusunda kıyaslama yapılarak cadde için uygun yol aydınlatma sınıfları ve yol aydınlatma kriterleri belirlenir (Anonim, 2025c). Bu veriler doğrultusunda yol sınıfı M3, aydınlatma sınıfı P4 olarak belirlenmiştir. Yol yüzeyi sınıfına göre herhangi bir bilgi bulunmaması durumunda yol yüzeyi sınıf bilgisi R3 olarak alınır. Bu programda LED armatürün azami güç oranı, aydınlatma hesabı yapıp simülasyon oluşturularak bulunmuştur.

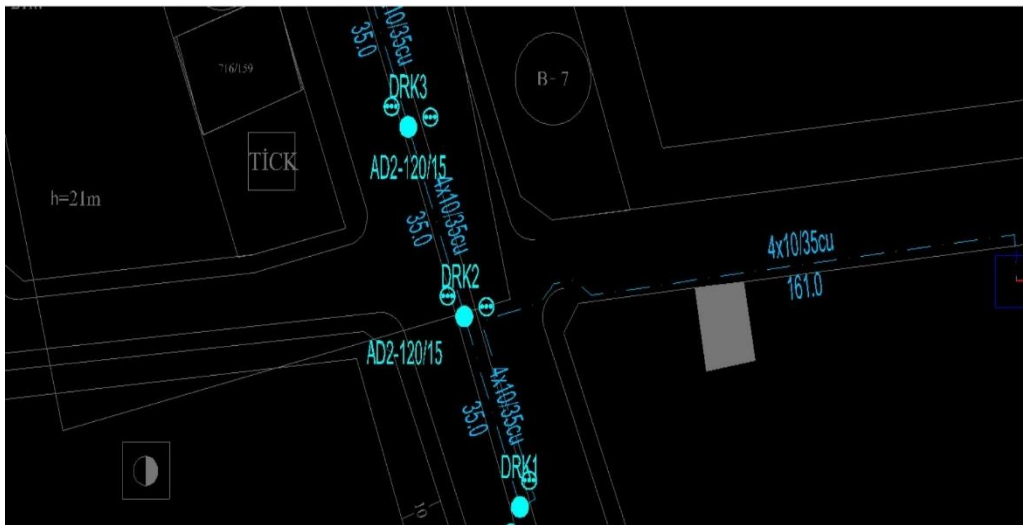
LED armatür içinde dialux programında 12 metre direk boyunda terminal caddesi yol standartlarında hesaplamalar yapılmış olup 86 W LED armatür kullanılması gerektiği anlaşılmıştır.

b-PRO Programı ve Kullanım Amacı

b-PRO Türkiye menşeli B Mühendislik tarafından geliştirilen, CAD tabanlı elektrik dağıtım şebekesi proje tasarım yazılımıdır. Alçak ve orta gerilim şebekeleri, aydınlatma şebekelerinden trafo seçimi ve raporlamaya kadar kapsamlı analizler ve çizimler yapar. TÜBİTAK ve üniversite ortak AR-Ge'siyle geliştirilmektedir. (Antalya Teknokent)

b-PRO proje programında Cad tabanlı verilerin koordinatlı bir şekilde işlenerek üzerine proje çizimi yapılmaktadır (Şekil 45.) Veri tabanında tüm direklerdeki armatürler ve özellikleri sisteme otomatik olarak işlenmiş haldedir.

Çizim yapılırken dialux programında belirlenen tüm kriterler bu programda da uygulanmıştır. Dialux programında bulunan sodyum buharlı armatür için 250 watt ve LED armatür için bulunan 86 watt armatür güçleri B-pro programında çizilecek proje için zemin oluşturmuştur.



Şekil 48. İmar Planı üzerine B-pro çalışma alanı

Bu program vasıtasıyla Terminal Caddesinde her iki armatür türü için de ayrı ayrı proje çizimi yapıp teknik hesaplar karşılaştırılmıştır. Projede galvaniz çelik poligon direkler (2-120/15), ve 4x10/35 bakır iletken kullanılmıştır. Bölgenin aydınlatılması TM-1'den beslenen, 1999 yılında tesis edilen DM 8-23 (TR17420) numaralı trafodan enerji alarak yapılmaktadır.

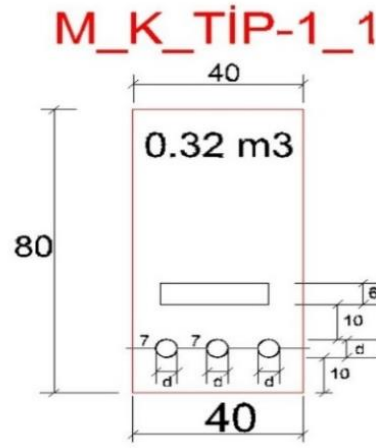
Seçilen direk boyu ve armatür bilgisi dikkate alınarak koordinatlı direk yeri tayini yapılmıştır. Akabinde 20 adet galvanizli çelik poligon aydınlatma direği ile orta refüjden çift konsollu 86 w armatür kullanarak b-pro programında çizim yapılmıştır.

The screenshot displays the 'Direk Özellikleri' (Pole Characteristics) dialog box in the B-Pro software. The 'Genel Bilgiler' (General Information) tab is selected, showing the following details: Pole Type (AYD), Pole Subtype (GALV.POLIGON), Pole Name (2-120/15), Pole Number (DRK2), and Status (YENI). The 'Mevcut Durumu' (Current Status) section includes radio buttons for Genel, Eski, Yakında, Hasarlı, and Sökülecek. The 'Koordinat' (Coordinates) section provides X: 436377.481 and Y: 4419378.218. The 'Topraklama' (Grounding) section has checkboxes for 'Koruma' and 'İşletme'. The 'Direk Kullanım Tipi' (Pole Usage Type) section features radio buttons for TEDAŞ, ÖZEL, and Diğer. The 'Toplu Yük' (Total Load) section shows 500 W, 'Cos Q' as 0.8, and 'Diversite %' as 100. The 'Durdurucu' (Stopper) section has radio buttons for YAPMA, YAP, and VAR. The 'POTANS' (Potential) section has radio buttons for YOK and VAR. The 'JET TRVS VAR' checkbox is unchecked. At the bottom, there are buttons for 'Tamam' (OK), 'Abone Bilgileri' (Subscription Information), and 'İptal' (Cancel).

Şekil 49. B-Pro direk ve armatür bilgisi girilen proje ekran görüntüsü

b-PRO programı kanal hesabı

Sokak aydınlatma kanal sistemi aydınlatma direklerine enerji taşıyan kabloların güvenli ve düzenli bir şekilde döşenmesini sağlar. Bu kanallar için ilgili belediye ya da TEDAŞ onaylı proje hazırlanır. Kabloları koruyabilmek için koruyucu borular döşenir. Güvenlik amacıyla her direk için topraklama yapılır ayrıca sistem genel topraklamaya bağlanır. Terminal Caddesi için bahsi geçen bu sokak aydınlatma kanal sistemi 3 metrelik orta şeritten 40x80 boyutlarında tasarlanmıştır. B-pro proje çizme programında Terminal Caddesi'nin orta refüjünde planlanan kanalın içine 4x10/35 nyy kablolar yerleştirilmiştir. Bu yerleştirme TEDAŞ tarafından yayınlanan kablo usul esaslarına göre yapılmıştır.



Şekil 50. B-pro aydınlatma kablosu yeraltı kanal bilgisi

B-pro proje çizim programı hazır veri içeren kütüphanesi ile tüm buz yükü bölgeleri ,direk tipi, aç ve iletken cinsine göre zayıflatma faktörlü direkleri ve donatısını otomatik seçebilmektedir. B-pro programı ile aydınlatma şebekesi için imar planı üzerine vaziyet planı, gerilim düşümü analizi ve raporlaması, güç kaybı analizi ve raporlanması, trafo güç analizi ve raporlaması yapılmaktadır.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ülkemizdeki enerji yatırımlarının büyük bir kısmını yol aydınlatmaları oluşturmaktadır. Tüm yatırımlarda olduğu gibi tasarruf ilkesi yol aydınlatmanın da temelidir. Aydınlatmanın tasarruflu hale getirilebilmesi için çeşitli stratejiler geliştirilmektedir. Geliştirilen stratejilerin orijininde enerjinin daha verimli kullanılması yer almaktadır. Mevcut sistemde yol aydınlatmalarında genellikle sodyum buharlı armatürler kullanılmaktadır. Fakat LED armatürlerin geleneksel aydınlatma kaynaklarına göre daha uzun ömürlü olduğu ve daha az enerji tükettiği, Dialux aydınlatma programı ve b-PRO proje çizme programında yapılan hesaplamalar neticesinde görülmektedir. Ayrıca LED armatürlerinin sunduğu renk seçenekleri ve parlaklık kontrolü sayesinde aydınlatma ihtiyaçlarına daha uygun çözümler sunduğu açıktır. Bu kapsamda Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nca 2020 yılı yatırım programlarında dağıtım şirketlerinin LED armatür kullanılması planlanmıştır. Bu süreç içerisinde firmaların kendi markalarının akreditasyonunu yapıp onaylatmaları gerekmektedir.

Terminal caddesi için tasarlanan projede yol bilgisi, direk boyu, konsol yapısı ve direk açıklıkları dikkate alınarak yapılan hesaplamalarda aşağıdaki tablolarda gösterilen veriler elde edilmiştir. Yapılan çalışmada 20 adet 12 metre boyunda galvaniz çelik poligon direk 35 metre açıklığında kullanılmış olup çift konsolludur. Toplamda 40 adet armatür kullanılmıştır. Dialux programı ve b-PRO proje çizme programı kullanılarak armatürlerin güçleri, gerilim düşümü değerleri ve güç hesapları, maliyet hesapları ayrı ayrı ve karşılaştırmalı olarak hesaplanmıştır.

Yapılan hesaplamalar neticesinde yüksek basınçlı sodyum buharlı armatür gücü 250 W iken LED için bu değer 86 W bulunmuştur (Tablo 1.). Güç kullanımı açısından yapılan bu hesaplama ile LED armatürün yüksek basınçlı sodyum buharlı armatüre göre yaklaşık %65 daha tasarruflu olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 1. Dialux Programı Aydınlatma Hesabında Elde Edilen Armatür Güçleri

Armatür Türü	Armatür Gücü (W)
Sodyum Buharlı Armatür	250
LED Armatür	86

Terminal caddesi için tasarlanan dialux programında elde edilen güç değerlerinin markaların katalog değeri balast gücü dahil edilerek toplam tüketilen enerji miktarı ve güç değerleri hesaplanmıştır. Projede (b-PRO programında çizilmiş) bölgenin beslenmesini

sağlayan 400 kVA gücünde bina tipi bir trafo mevcuttur Birim gücü(balast gücü dahil) 286 W olan 40 adet Cemdağ marka Sodyum buharlı armatür (250 w) için edilen güç miktarı 11440 W iken birim gücü(balast dahil) 86,4 W olan 40 adet Arlight marka LED armatür için elde edilen toplam güç miktarı 3456 W olmuştur(Tablo 2.) Bu hesaplama neticesinde güç tasarruf oranının %69,79 LED olduğu anlaşılmıştır. Bu da sistemden çekilen gücün daha az olmasının ömrüyle ters orantılı olacağı bilgisinden hareketle LED armatürlerin daha avantajlı olduğu gerçeğine işaret etmektedir.

Tablo 2. b-PRO Programında Elde Edilen Trafo Güç Oranları

Armatür Türü	Marka	Harcadığı Güç(W)	Adedi	Toplam Çekilen Güç (W)
Sodyum Buharlı Armatür (250 W)	Cemdağ	286	40	11440
LED Armatür (86 W)	Arlight	86,4	40	3456

Tasarruf Miktarı=7984*100 kW

Tasarruf miktarı= (Mevcut Sodyum Buharlı Lambaların Şebekeden Çektiği Güç-LED

Dönüşüm Sonrası Şebekeden Çekilen Güç)*100 olarak formülle ifade edilir.

Güç Tasarruf Oranı(%)=(7984/11440)*100=69,79

Armatürlerin gerilim düşümü değerleri ise yüksek basınçlı sodyum buharlı armatür için %4 iken LED için %2,29 hesaplanmıştır (Tablo 3.). Alçak gerilim tesislerinde gerilim düşümü %5'i aşmamalıdır. Değerlerden anlaşılabacağı üzere tesislerin gerilim düşümü karşılaştırıldığında LED armatür ile tesis edilen projede %57 oranında daha uzun mesafelerde daha kaliteli aydınlatma elde edildiği görülmektedir.

Tablo 3. b-PRO Programında Elde Edilen Gerilim Düşümü Değerleri

Armatür Türü	Gerilim Düşümü
Sodyum Buharlı Armatür	4
LED Armatür	2,29

Pilot bölge olarak seçilen Terminal Caddesi'nde Sodyum buharlı olarak kurulan aydınlatma tesisi için 2024 TEDAŞ birim fiyatlarına göre yapılan maliyet hesabı şu şekildedir. 20 adet galvaniz çelik aydınlatma direği, 40 adet Sodyum buharlı armatür, 760 metre 4x10 nyy iletken ve gerekli topraklama malzemeleriyle birlikte malzemeye birlikte montaj fiyatı ₺ 1 554 485,92 'dir.

Tablo 4. Sodyum Buharlı Aydınlatma Tesis Maliyeti

	BİRİM	MİKTAR	MALZEME (BİRİM FİYAT)	MONTAJ (BİRİM FİYAT)	MALZEME FİYAT	MONTAJ FİYAT
AD2-120 /15 Tipi 190 Kg.Ağır.GALV.POL.AYD.DİR.	AD.	20	₺15.348,30	₺0,00	₺306.966,00	₺0,00
MONTAJ-Galvanizli Çelik Aydınlatma Direkleri (TOPLAMAĞ.)	KG.	3800	₺0,00	₺71,49	₺0,00	₺271.662,00
MALZEME-Galvanizli Çelik Aydınlatma Direkleri (TOPLAMAĞ.)	KG.	3800	₺0,00	₺0,00	₺0,00	₺0,00
Çap: 50mm (250 Newton)-Kablo Muhafaza Borusu(Metalik olmayan ver altına)	AD.	11	₺11,10	₺7,20	₺122,10	₺79,16
250 W (Sodyum Buh. Aydın. Armatürü. Ampul Hariç)	AD.	40	₺1.380,92	₺1.427,94	₺55.236,80	₺57.117,54
Sodyum Buharlı Ampul Şeffaf Tüp (250 W Yük.Bas.-Ateşlemeli T.)	AD.	40	₺215,85	₺0,00	₺8.626,00	₺0,00
220 V 6 A Anahtarlı Oto.Sig.	AD.	40	₺58,07	₺213,45	₺2.322,80	₺8.538,12
50 mm2 NYY Kablo ve montajı	M.	20	₺237,96	₺111,27	₺4.759,20	₺2.225,46
35 mm²(319.26 kg/km) örgülü bakır iletken ve gömülmesi	M.	735	₺180,25	₺111,27	₺117.783,75	₺81.785,58
2 Mt. GALVANİZLİ (65 x 65 x 7'lik) TOPRAKLAMA KAZIĞI	AD.	3	₺922,25	₺1.825,14	₺2.766,75	₺5.475,42
4 x 10 5 mm2 0.6/1 kV YVV (NYY) Kablo	M.	760	₺188,02	₺572,57	₺142.895,20	₺435.150,04
2 x 2.5 mm2 500 VOLT NYY (NYM) Kurşunsuz Antg.Kab.	M.	440	₺31,44	₺84,41	₺13.833,60	₺37.140,40
				TOPLAM	₺655.312,20	₺899.173,72
				GENEL TOPLAM	₺1.554.485,92	

Sodyum Buharlı Armatür Fiyatı: ₺120.980,34

Terminal Caddesi'nde LED armatürlü olarak kurulan aydınlatma tesisi için 2024 TEDAŞ birim fiyatlarına göre yapılan maliyet hesabı ise şu şekildedir. 20 adet galvaniz çelik aydınlatma direği, 40 adet Sodyum buharlı armatür, 760 metre 4x10 nyy iletken ve gerekli topraklama malzemeleriyle birlikte malzemeyle birlikte montaj fiyatı ₺ 1 610 686,72 'dir.

Tablo 5. LED Aydınlatma Armatürlü Tesis Maliyeti

	BİRİM	MİKTAR	MALZEME (BİRİM FİYAT)	MONTAJ (BİRİM FİYAT)	MALZEME FİYAT	MONTAJ FİYAT
AD2-120 /15 Tipi 190 Kg.Ağır.GALV.POL.AYD.DİR.	AD.	20	₺15.348,30	₺0,00	₺306.966,00	₺0,00
MONTAJ-Galvanizli Çelik Aydınlatma Direkleri (TOPLAMAĞ.)	KG.	3800	₺0,00	₺71,49	₺0,00	₺271.662,00
MALZEME-Galvanizli Çelik Aydınlatma Direkleri (TOPLAMAĞ.)	KG.	3800	₺0,00	₺0,00	₺0,00	₺0,00
Çap: 50mm (250 Newton)-Kablo Muhafaza Borusu(Metalik olmayan ver altına)	AD.	11	₺11,10	₺7,20	₺122,10	₺79,16
LED	AD.	40	₺3.001,59	₺1.427,94	₺120.063,60	₺57.117,54
220 V 6 A Anahtarlı Oto.Sig.	AD.	40	₺58,07	₺213,45	₺2.322,80	₺8.538,12
50 mm2 NYY Kablo ve montajı	M.	20	₺237,96	₺111,27	₺4.759,20	₺2.225,46
35 mm²(319.26 kg/km) örgülü bakır iletken ve gömülmesi	M.	735	₺180,25	₺111,27	₺117.783,75	₺81.785,58
2 Mt. GALVANİZLİ (65 x 65 x 7'lik) TOPRAKLAMA KAZIĞI	AD.	3	₺922,25	₺1.825,14	₺2.766,75	₺5.475,42
4 x 10 5 mm2 0.6/1 kV YVV (NYY) Kablo	M.	760	₺188,02	₺572,57	₺142.895,20	₺435.150,04
2 x 2.5 mm2 500 VOLT NYY (NYM) Kurşunsuz Antg.Kab.	M.	440	₺31,44	₺84,41	₺13.833,60	₺37.140,40
				TOPLAM	₺711.513,00	₺899.173,72
				GENEL TOPLAM	₺1.610.686,72	

LED armatür fiyatı: ₺177.181,14

Terminal Caddesi için kurulan aydınlatma tesislerinde farklı olan tek değişkenin armatür fiyatları olduğu açıktır. Aynı cadde için aynı şartlar altında kurulan iki aydınlatma

tesisinde Sodyum buharlı armatür maliyeti ₺120.980,34 iken LED armatür maliyeti ₺177.181,14 olarak hesaplanmıştır. Armatürlerin maliyeti karşılaştırıldığında LED armatürün maliyetinin Sodyum buharlı armatüre oranla % 46,45 daha fazla olduğu görülmektedir. Fakat LED armatürün diğer avantajları göz önüne alındığında bu oran ihmal edilebilir düzeydedir.

$$56.200,8/120.980,34*100=\%46,45$$

Terminal caddesi için tasarlanan proje kapsamında dialux programıyla yapılan hesaplamada; 86 W gücünde LED armatür ile alanı 175 m2 olan sağ ve sol toplam 350 m2 kaldırım, alanı 420 m2 olan sağ ve sol toplam 840 m2 yol olmak üzere toplamda 1190 m2 alan aydınlatılabilmektedir. Ancak aynı caddede belirtilen alana sahip yol ve kaldırımlar 250 W gücünde sodyum buharlı armatür için aydınlatma düzeyi oldukça yüksek çıkmaktadır. Sodyum buharlı armatür için direk ara mesafeleri açılabilir veya daha düşük güçte armatür de tercih edilebilir.

Yapılan değerlendirmeler neticesinde tesislerimizde LED armatürlerin kullanımının avantajlı olduğu görülmektedir. Ancak LED armatürlerin kullanılacağı direk türleri için statik hesapları yapılarak tip projelerinin onaylatılmasının önemli olduğu unutulmamalıdır. Bahsi geçen tüm hususlar dikkate alınarak yapılacak bir yol aydınlatmasında kalite kaçınılmazdır.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2020. http://www.emo.org.tr/ekler/897a835425744fd_ek.pdf (Erişim Tarihi: 11.02.2020)
- Anonim, 2025a. <http://dengesende.com.tr>
- Anonim, 2025b. <http://elder.org.tr>
- Anonim, 2025c. <http://mastled.com.tr>
- Anonim, 2025d. <http://sanayicidergisi.com.tr>
- Anonim, 2025e. <https://pelsan.com.tr/aydinlatma-hesaplari>
- Aslan, İ., 2022. Enerji Verimliliği Uygulamalarında Adaptif Yol Aydınlatmaları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 725999
- Demir, Y., 2020. Yol Aydınlatmasında Kullanılan Lambalarının Karşılaştırmalı Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muş. 648176
- Elektrik Dış Aydınlatma Yönetmeliği, 2025. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
- Genel Aydınlatma Yönetmeliği 2013. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
- Goca, N., 1993. Optik, Erzurum
- Kaymaz, Ö., 2015. Mevcut Yol Aydınlatma Aygıtlarının Etkin Yol Aydınlatması için Performanslarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul 2016
- Özkaya, M., Tüfekçi T., 1994. Aydınlatma Tekniği, Birsan Yayınevi, İstanbul
- Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. 2020. LED Işık Kaynaklı Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi, Revize Ekim 2020., Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı
- Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi, 2008. Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş., Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı
- Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi, Revize Ekim 2020. Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş., Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı
- Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi, Revize Mayıs 2008
- Yüksek Basınçlı Civa Buharlı ve Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lambalar Teknik Şartnamesi, 2010. Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş., Malzeme Yönetimi Dairesi Başkanlığı

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Fatmanur MUTLU
Doğum Tarihi:	
E-mail:	
Eğitim	
Lise:	Nenehatun Kız Lisesi
Lisans:	Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü
Lisans:	Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği(Çift Anadal)
Yüksek lisans:	Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens. Fizik Anabilim Dalı (Devam Ediyor)
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	Orta
İş Deneyimleri	
2013-2015:Artvin Çoruh EDAŞ- Proje Onay ve Kabul Mühendisi	
2015-2018:Genel Müdürlük Aras EDAŞ- Proje Mühendisi	
2018-2025:Erzurum ARAS EDAŞ- Sistem İşletme Başmühendisi(Devam Ediyor)	