

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MEVCUT YOL AYDINLATMA AYGITLARININ ETKİN YOL AYDINLATMASI
İÇİN PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ**

ASİYE KAYMAZ ÖZCANLI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALı
ELEKTRİK TESİSLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. ADEM ÜNAL**

İSTANBUL, 2016

ÖNSÖZ

Enerji kaynaklarının hızla tükenmesi, yeni enerji arayışlarının yanında, var olan enerji tüketimini de minimum hale getirmeyi amaçlamaktadır. Bu çalışmalar kapsamında aydınlatma sektöründe teknolojinin gelişmesi ile birlikte yeni atılımlar yapılmaktadır. Köklü değişimin yaşandığı alanlardan biri de yol aydınlatmasıdır. Bu konuda yeni ürünlerin ortaya çıkması, mevcut armatürlerin verimlilik açısından ne derece uygun olduğu konusunu gündeme getirmiştir.

Bu tez çalışmasıyla, mevcut durumda ülkemizde kullanılmakta olan yol aydınlatma armatürleri ile kullanılması muhtemel yarı iletken malzemelerden yapılan LED(Light Emitting Diyot) armatürlerin fotometrik özellikleri laboratuvar ortamında ölçülerek etkinlikleri incelenmiştir.

Çalışmalarım sırasında yardımcı olan çok değerli tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Adem ÜNAL'a, tez dönemim boyunca aydınlatma laboratuvarının kullanımı ve her türlü desteği esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. İsmail Nakir'e ve Arş. Gör. Ramazan Ayaz'a gönülden teşekkür ediyorum. Ayrıca bugünlere gelmemde çok büyük emekleri olan aileme ve her zaman destekleriyle yanımda olan eşime teşekkürü borç bilirim.

Aralık, 2015

Asiye KAYMAZ ÖZCANLI

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGE LİSTESİ.....	v
KISALTIMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	xii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	4
1.3 Hipotez.....	4
BÖLÜM 2	
YOL AYDINLATMA KRİTERLERİ VE STANDARTLARI	6
2.1 Yol Tanımları ve Aydınlatma Sınıfları	7
2.2 Aydınlatma Kriterleri.....	9
2.2.1 Yol Yüzeyinin Ortalama Parlıltısı.....	10
2.2.2 Ortalama Düzgünlük ve Boyuna Düzgünlük	11
2.2.3 Kamaşma	11
2.2.4 Çevreleme Oranı.....	12
2.3 Yol Aydınlatmasında Kullanılan Işık Kaynakları.....	12
BÖLÜM 3	
AYDINLATMA AYGITLARININ PERFORMANS ÖZELLİKLERİ	15

3.1	Armatürlerin Fotometrik Özellikleri.....	15
3.1.1	Işık Dağılım Eğrileri(I-çizelgesi)	15
3.1.2	Parıltı.....	19
3.1.3	Toplam Işık Akısı	21
3.1.4	Armatür Verimi ve Etkinlik Faktörü	22
3.2	Armatürlerin Elektriksel Özellikleri	23
3.2.1	Armatür Gücü	23
3.2.2	Güç Faktörü	23
3.2.3	Toplam Harmonik Distorsiyon	24
3.3	Işık rengi, Renk Sıcaklığı ve Renksel Geriverim	24
3.3.1.1	CIE Kolormatik Diyagram	26
3.4	Fotometrik Büyüklüklerin Ölçülmesi	27
3.4.1	Gonyofotometre.....	28
3.4.1.1	Led Gonyofotometre.....	33
3.4.2	Işık Bütünleştirme Küresi(Ulbright Küresi) ve Spektrometre... ..	35
3.4.3	Yansıtma ve Geçirgenlik Ölçüm Cihazı.....	37

BÖLÜM 4

UYGULAMA ÇALIŞMASI.....	38	
4.1	Ölçümlerde Kullanılan Işık Kaynakları ve Özellikleri	39
4.2	Türkiyede Yol Aydınlatmasında Kullanılan Farklı Tip Armatür ve Ledlerin Gonyofotometre ile Ölçüm Verileri	42
4.3	DIALUX Programında Ölçüm Verileri Kullanılarak Farklı Yol Modellerine göre Armatürlerin Performanslarının İncelenmesi.....	45
4.3.1	Dialux Programında Yol Modeli Oluşturma ve Armatür Yerleşimi İle İlgili Temel Esaslar	45
4.3.2	Farklı Yol Sınıfları İçin Oluşturulan Modeller ve Sonuçlar	48
4.3.3	400W YBSB ve MH Konvensiyonel Armatürler.....	49
4.3.4	250W YBSB ve MH Armatürler ile Alternatif LED armatürler.....	50
4.3.5	150W Konvensiyonel Armatürler ve Alternatif Led Armatürler.....	52
4.3.6	M2 Sınıfı 150W YBSB, MH Armatürler ile LED Armatürlerin Enerji Tasarrufu Açısından Karşılaştırılması	54

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER	57
KAYNAKLAR	61

EK-A

GONYOFOTOMETREDE ÖLÇÜMÜ ALINAN ARMATÜRLERİN DAĞILIM EĞRİLERİ	64
--	----

EK-B

TEZ İLE İLGİLİ YAYIMLANAN KONFERANS BİLDİRİSİ	68
ÖZGEÇMİŞ.....	73

SİMGE LİSTESİ

C	Fotometrik azimut
E	Aydınlık şiddeti
h	saat
I	Işık şiddeti
K	Kelvin
L _o	Ortalama parıltı
L _{max}	Maksimum parıltı
L _{min}	Minimum parıltı
L _v	Perdeleme parıltısı
E _v	Perdeleme aydınlatma şiddeti
mh	Montaj yüksekliği
oh	taşıyıcı kol uzunluğu
U _L	Boyuna düzgünlük
U _o	Ortaşama düzgünlük
TI	Bağıl eşik artışı
R _a	Renksel geriverim
SR	Çevreleme oranı
s	Direkler arası mesafe
T _c	Renk Sıcaklığı
r	Parıltı katsayısı
MF	Bakım faktörü
H	Montaj yüksekliği
W _r	şerit genişliği
Φ	Işık akısı
θ	Direk eğim açısı
β	Beta düzlemi açısı
Υ	Işık yolunun fotometrik açısı
Υ _{maks}	Maksimum ışık şiddetinin oluşturduğu açı

KISALTMA LİSTESİ

CEN	Avrupa Birliği Standartları
CIE	Uluslararası Aydınlatma Komisyonu
CRI	Renksel Geriverim İndeksi
cd	Kandela
HPM	Yüksek Basınçlı Civa Buharlı
HPS	Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı
IES	Kuzey Amerika Aydınlatma Mühendisliği Birliği
kW	Kilo watt
kWh	Kilo watt saat
LED	Light Emitted Diyot
LPS	Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı
MH	Metal Halide
lm	Lümen
klm	kilolümen
TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım Şirketi
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
V	Volt
W	Watt
Wh	Watt saat
YBSB	Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı
YTÜ	Yıldız Teknik Üniversitesi

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1 C,Y düzleminde yol armatürünün koordinatsal olarak gösterimi[22]	16
Şekil 3.2 Bir yol aydınlatma armatürünün C düzleminde ışık dağılım eğrisi.....	18
Şekil 3.3 Parıltı hesaplama alanı ve gözlemci konumu	20
Şekil 3.4 Parıltı ölçümü için hesaplama noktalarının konumu.....	21
Şekil 3.5 Kruithof Etkisi	25
Şekil 3.6 150W YBSB lambanın spektrodymetre ile ölçümü	26
Şekil 3.7 Kolormatik Diyagram Örnek Gösterimi[27].....	27
Şekil 3.8 Gonyofotometre çalışma sistemi	29
Şekil 3.9 Lamba ve armatürlerin fotometrik merkezleri[28]	30
Şekil 3.10 Gosoft Yazılımında Işık Kaynağı İle Armatür Bilgilerinin Girilmesi	31
Şekil 3.11 Gosoft Yazılımında Ölçüm Açısıl aralıklarının Girilmesi.....	32
Şekil 3.12 Yol aydınlatması armatürü gonyofotometrik ölçümü.....	33
Şekil 3.14 Spektrodymetre Optik Çalışma Şeması.....	36
Şekil 3.15 Ulbright Küresi	37
Şekil 4.1 70W Sodyum Buharlı Lambanın Spektral Dağılımı ve Kolormatik Diyagramı ..	40
Şekil 4.2 150W Sodyum Buharlı Lambanın Spektral Dağılımı ve Kolormatik Diyagramı	40
Şekil 4.3 150W Metal Halojen Lambanın Spektral Dağılımı ve Kolormatik Diyagramı...	41
Şekil 4.4 250W Sodyum Buharlı Lambanın Spektral Dağılımı ve Kolormatik Diyagramı	41
Şekil 4.5 250W Metal Halojen Lambanın Spektral Dağılımı ve Kolormatik Diyagramı...	41
Şekil 4.6 400W Sodyum Buharlı Lambanın Spektral Dağılımı ve Kolormatik Diyagramı	42
Şekil 4.7 400W Metal Halojen Lambanın Spektral Dağılımı ve Kolormatik Diyagramı...	42
Şekil 4.8 Farklı tiplerde Aydınlatma Düzenekleri	47
Şekil 4.9 Armatür montaj mesafeleri ve tanımları.....	48
Şekil 4.10 M1 yol sınıfında 400W armatürlerin örnek yol modeli	49
Şekil 4.11 M1 yol sınıfında 250W armatürlerin örnek yol modeli	51
Şekil 4.12 M2 yol sınıfında 150W armatürlerin örnek yol modeli	52

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Türkiye’de şehiriçi yollar ve aydınlatma sınıfları [12].....	8
Çizelge 2.2 Aydınlatma sınıflarına bağlı minimum aydınlatma kalite büyüklükleri[12] ...	8
Çizelge 2.3 Yol Tiplerine Göre Armatürler için Minimum Tasarım Değerleri[12].....	9
Çizelge 2.4 Yol Aydınlatmasında Kullanılan Işık Kaynaklarının Karakteristikleri[16]	13
Çizelge 3.1 Armatüre ait I(C, Y) ışık şiddeti değerleri(cd/1000lm olarak)[12]	17
Çizelge 3.2 Kamaşma durumuna göre armatürlerin sınıflandırılması[23].....	18
Çizelge 3.3 Yol aydınlatmasında yaygın olarak kullanılan kaynakların etkinlikleri[3].....	22
Çizelge 4.1 Ulbright Küresinde Ölçümü Yapılan Lambalardan Elde Edilen Veriler	40
Çizelge 4.2 Yol Aydınlatmasında Kullanılan Armatürlerin Fotometrik Verileri.....	44
Çizelge 4.3 M1 Yol Sınıfında Simülasyonu Yapılan Armatürlerin Ölçüm Sonuçları	50
Çizelge 4.4 M1 Yol Sınıfında Simülasyonu Yapılan Armatürlerin Ölçüm Sonuçları	51
Çizelge 4.5 M2 Yol Sınıfında Simülasyonu Yapılan Armatürlerin Ölçüm Sonuçları	53
Çizelge 4.6 M3 Yol Sınıfında Simülasyonu Yapılan Armatürlerin Ölçüm Sonuçları	53
Çizelge 4.7 YBSB, MH ve LED Armatürlerin Ölçüm Sonuçları	54
Çizelge 4.8 Değişimi Yapılan Armatürlerin Sağladığı Enerji Tasarrufu.....	55
Çizelge 4.9 İki farklı Durumda Hesaplanan Geri Dönüşüm Süreleri	55

**MEVCUT YOL AYDINLATMA AYGITLARININ ETKİN YOL AYDINLATMASI
İÇİN PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ**

Asiye KAYMAZ ÖZCANLI

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr.Adem ÜNAL

Dünya üzerinde petrol ve gaz rezervlerinin hızla azalması, gelişen teknoloji ile birlikte de enerjiye olan talebin hızla artması enerji krizine sebep olmuştur. Bu krizi çözebilmek için enerji tasarrufu, enerjinin etkin kullanılabilmesi üzerinde yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde bu konuda enerji tüketiminin azaltılması, gereksiz kullanımlarının daha etkin çözümlerle değiştirilmesi amacıyla büyük finansal destek sağlamaktadır.

Elektrik enerjisi tüketiminin dünyada yıllık %15-20'lik kısmı aydınlatma sistemlerinde harcanmaktadır. Toplam oranın ortalama %3'lük bölümü ise şehiriçi yol aydınlatmalarına gitmektedir. Yıllık olarak tüketilen enerji gözönüne alındığında bu oran azımsanmayacak derecede yüksektir. Aydınlatmada yapılan değişim ve revizeler ile bu oranın düşürülmesi hedeflenmektedir.

Armatür ve lamba seçimi yol aydınlatması için tasarım hesapları yapılırken dikkat edilmesi gereken iki önemli unsurdur. Minimum enerji tüketiminin yanında yolun aydınlatma kalite büyüklüklerini sağlanması, sürücülerin ve yayaların can güvenliğinin ve emniyetli görüş seviyesinin tehlikeye atılmaması gerekmektedir. Gece meydana gelen trafik kazalarının büyük bir kısmı aydınlatmadaki hatalar nedeniyle görmeden yaşanan bozukluklardan ve yetersiz aydınlatmalardan kaynaklanmaktadır.

Enerji tasarrufunun önem kazandığı son yıllarda yol aydınlatması ile ilgili armatürlerin tamamen değişimi konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar yapılırken

armatürlerin fotometrik değerleri, lambaların ve armatürlerin ömürleri, verimlilikleri, ilk kurulum maliyetleri, enerji etkinliği gibi birçok parametreye bağlı olarak detaylı fizibilite çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

Bu tez çalışmasıyla, ülkemizde kullanılmakta olan yol aydınlatma armatürleri üretici firmalardan yüksek basınçlı sodyum buharlı ve metal halide armatürler ile birlikte yeni nesil LED olarak temin edilmiştir. Bu armatürlerin fotometrik verileri gonyofotometre laboratuvarında test edilmiştir. Ürünlerin sahip oldukları ışık akısı, şebekeden çekilen güç, balast kaybı, güç faktörü, etkinlik değeri, renksel özellikleri gibi performansını etkileyen önemli değerler elde edilmiştir. Elde edilen bu ışık verileri bilgisayar ortamına aktarılarak, armatürlerin DIALUX programı ile M1, M2, M3 yol sınıflarına göre CIE (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu) ve TEDAŞ'ın belirlemiş olduğu yol aydınlatma standartlara göre performansları değerlendirilmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre mevcut MH armatürlerin yerine alternatif LED ürünlerin kullanılması enerji tasarrufu açısından YBSB armatürlere göre daha avantajlı olduğu ortaya konmuştur. YBSB armatürlerin kaldırılıp yerlerine LED armatürlerin getirilmesi ise her durum için uygun olmadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yol aydınlatması, DIALUX, Yol aydınlatma kriterleri, LED, HPS, MH

**ANALYSİNG THE PERFORMANCE OF
ROAD LUMİNARES FOR EFFECTİVE ROAD LIGHTİNG**

Asiye KAYMAZ ÖZCANLI

Department of Electrical Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Asisst. Prof. Dr. Adem ÜNAL

All over the world, decreasing oil and gas reserves and increasing energy demand lead to global energy crisis. In order to solve this crisis, research and development studies are gaining importance about energy saving and efficiency day by day. Developing countries is providing financial support for reducing energy consumption and replacing by more effective systems of redundant use.

Lighting is one of the most important sector for energy saving. The energy consumption for lighting is about %15-20 of the total consumed electrical energy in the world and also about %3 of this ratio is used by road lighting. Reducing of this ratio with new methods and restorations is purposed on road lighting.

Luminaire and lamp selection are two basic factors which should be paid attention for road lighting while design calculations. Along with minimum energy consumption and providing road lighting criteria, driver and pedestrian safety and safe level of vision should not be jeopardized. A large number of night time accidents derive from insufficient lighting and vision disorders due to incorrect lighting design.

With this thesis, high pressure sodium vapor, metal halide and light emitting diyet (LED) road lighting luminares are supplied from luminaire manufactures in Turkey. Photometric data of studied luminaire are tested in Goniophotometer Labory. Basic values affecting performance of product like luminous flux, luminaire power, ballast loss power, power factor, luminous efficacy and color properties are obtained for each product. These data are transferred to DIALUX lighting program and are made simulation for different road types M1, M2, M3 classes. Eventually, luminaire

performance is analysed according to lighting quality criteria for CIE (International Commission On Illumination) standards and TEDAS (Turkish Electricity Distribution Company) road lighting specification. According to test results and calculations, using MH luminaires instead of LED luminaire is more effective than HPS luminaires. LED luminaires can not be the most optimum solution for all road lighting installations. In all conditions, efficiency of LED luminaires is not at desired level.

Key words: Road Lighting , Road Lighting Criteria, LED, HPS, MH

1.1 Literatür Özeti

Elektriğin şehir aydınlatmalarında kullanılmaya başlanması ile birlikte ilk olarak modern anlamda yüksek basınçlı civa buharlı lambalar ve alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar kullanılmıştır. Civa buharlı lambaların düşük etkinlikleri sebebiyle zamanla bu lambaların yerine yüksek etkinlikleri ile ortaya çıkan alçak ve yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar almıştır. [1]

Hargovers'in makalesinde yol aydınlatmasının temelleri ile ilgili konular ortaya konmuştur. Yol ve caddelerin tarihsel olarak aydınlatılması gece meydana gelen suç oranının azaltılmasına bağlı olarak başlamıştır. Gece görüş performansı özellikle kontrast hassasiyeti açısından gündüze göre oldukça düşük olması nedeniyle yol aydınlatmasında amaç yol yüzeyi ile üzerinde bulunan nesnenin kontrastını maksimuma çıkaran bir tasarım oluşturmaktır. Yol aydınlatmasının performansı ışık dağılımına, ışık kaynağına, yol yüzeyinin yansıtma karakteristiğine ve yolun kendi geometrisine bağlıdır. Yol yüzey parlaklığı, düzgünlük ve kamaşma terimleri bu performansın hesaplanmasını mümkün kılmıştır. Tasarım methodları ve yol aydınlatma standartları ve uygulamaları ülkeden ülkeye farklılık göstermektedir. Bunun başlıca nedeni ise ülkelerin farklı hava koşulları ve yol yüzeylerinin farklı karakteristiklere sahip olmasıdır. Geçmişten günümüze yeni ürünlerin ortaya çıkması, aydınlatma sistemlerindeki gelişmeler standartlarda da ciddi değişikliklerin yapılmasını gerektirmiştir.[2]

Enerjinin etkin kullanılması yeni bir gelişme değildir, 1970 yılında meydana gelen büyük enerji krizi ile birlikte bu konuda geliştirilmesi gereken önemli konular arasında yer almıştır. Yol aydınlatması tasarımı ve mevcut tesisatların tekrar incelenmesi gereksinimi de iki önemli sebep ile başlamıştır. Bunlardan birincisi küresel ısınma ile birlikte enerji tüketiminin azaltılarak etkin kullanımının sağlanması, ikinci neden ise elektrik fiyatlarındaki artışı sebebi ile yatırımcının yol aydınlatmasında yeni arayışlara yönelişidir. Ayrıca ışık kaynaklarındaki hızlı gelişim ve sektöre yeni bir çözüm olarak getirilen LED(Light Emitted Diyot) kaynakların kullanılması bu alanda araştırma ve geliştirmeyi giderek arttırmıştır. Ekonomik ve enerji etkinliğine bağlı olarak yol aydınlatması kriterleri yaygın olarak kullanılmamaktadır. Yol aydınlatmasında bakım ve yatırım giderleri kullanılan armatür, ışık kaynakları, direk sayıları ile saptanır. Aydınlatma ekipmanlarının tutarı ürünlerin kalitesi ve armatürün tasarımı ve bakım sistemine göre belirlenir. Ayrıca yol aydınlatma gideri yol yüzeyi parlaklığı ve diğer aydınlatma giderleri, yol geometrisi, yol yüzeyinin tipi, elektrik giderleri ve yatırım ömrüne bağlıdır[3].

Yol aydınlatmasında enerji analizi geliştirilmiş kabul edilebilir bir aydınlatma enerji etkinliği değerlendirme sistemine bağlı olmalıdır. CIE tarafından yol aydınlatmasında enerji etkinliğinin değerlendirilmesinde kullanılabilecek bir sistem geliştirilebilmesi için çalışmalar sürdürülmektedir[3].

Pracki'nin enerji etkinliğine göre yol aydınlatmasının sınıflandırılması ile ilgili yayımladığı çalışmada yoğun taşıt trafiğinin olduğu avrupada genellikle başvurulan enerji etiketlendirmesi sisteminde etiketlendirme yönteminde baz alınan talep güç yoğunluğu ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır. Sonuç olarak pratikte kurulu güç yoğunluğuna bağlı olarak da sınıflandırma yapılabileceği ortaya konmuştur. Ayrıca yol aydınlatmasının temel parametrelerinden olan yol yüzeyi parlaklığının sınıflandırmaya büyük ölçüde etki ettiği saptanmıştır. Önerilen sınıflandırma sistemi hem tasarım aşamasında hem de mevcut yol aydınlatmasında enerji etkinliğinin değerlendirilmesinde kullanılabilmektedir[3].

Yol aydınlatması en etkin trafik güvenliği tedbirlerinin alınması olarak nitelendirilebilir. Yapılan araştırmalar gündüz meydana gelen kazaların gece meydana gelen kazalardan

1,5 ile 2 kat arasında daha az olduğunu göstermektedir. Ölümcül kazalarda ise gündüz meydana gelen kazalara göre bu oran üç kat daha fazla olmaktadır. Genel olarak yol aydınlatması tasarımı ile gece meydana gelen kazalar %20 ile %40 oranında azaldığı belirlenmiştir. Kuru havada meydana gelen kazalar, yağışlı ve karlı havalarda meydana gelen kazalarla karşılaştırıldığında önemli ölçüde kaza yapma riskinin düşük olduğu görülmüştür. Aydınlatma seviyesi ya da yol aydınlatma kalite parametreleri(ortalama ve boyuna düzgünlük, istenmeyen kamaşma, çevreleme oranı) ile kaza oranı arasında belli bir ilişki yoktur. Buna rağmen özellikle yaya geçişlerinde yol parlaklığı seviyesi arttığında, kaza oranının azaldığı bazı durumlar saptanmıştır[4].

Aydınlatma aygıtlarının yol aydınlatmasıyla ilgili kullanıldığı makalede mezopik görmenin HPS ve MH lambalar üzerinde tekno-ekonomik açıdan bir karşılaştırma yapılmıştır. Bu sonuçlara göre görüş performansı ve parlaklık açısından yol aydınlatma sınıflarına bağlı olarak değişimler olduğu gözlenmiştir. Makalede mezopik görmenin aydınlatma seviyeleri ve ışık şiddeti ile ilgili bağıntıları incelenerek renksel geriverim ve görülebilirliği daha iyi olan MH lambaların gece görüşlerinde özellikle yaya yolları için YBSB lambalara göre daha cazip olmuştur. Buna ek olarak mezopik görmede ME4, ME5, ME6 (parlaklığı seviyeleri 0,3-0,75 cd/m²) aydınlatma sınıflarında MH lambalar daha uygun görülmüştür[5].

Yol aydınlatma armatürleri ile ilgili bir diğer çalışma LED ve YBSB armatürler ilgilidir. Yapılan uygulamada Finlandiya'da bulunan Tietotie caddesinde YBSB armatürler ile aydınlatılmış parlaklığı ölçümleri kayıt altına alınmıştır. Daha sonra aynı yolun belirli kısımları dört farklı tip LED armatürler ile döşenmiştir. Alınan sonuçlar karşılaştırıldığında mevcut durumdaki yolda HPS armatürlerin kullanım süreleri uzun olduğu için ilk andaki etkinliklerine göre oldukça düşük olduğu gözlenmiştir. Eski tesisatın farklı LED armatürler ile değişiminde enerji tasarrufu sağladığı görülmüştür. Bununla birlikte armatür seçiminin önemi vurgulanmıştır. Farklı armatürlerin ışık dağılım eğrileri her durum için uygun çözüm değildir. Ayrıca mezopik tasarım dikkate alınarak yapılan uygulamalarda en iyi sonuçların aydınlatma tesisatı kurulumunda direk açıklığının fotometrik tasarım parametrelerine göre her yol durumu için belirlenmesi ile elde edildiği görülmüştür, dimmerlemenin yapılabilmesi ile parlaklığı seviyeleri gerekli olan durumlarda fotopik değerlere ayarlanabilir ve enerji tasarrufu sağlanabilir[6].

Fusheng Li ve arkadaşlarının yayımladığı makalede ise yol aydınlatmasında en yaygın kullanılan YBSB armatür ile yeni nesil LED armatürlerin mevcut yol üzerinde görülebilirlik üzerine çalışma yapılmıştır. YBSB ve LED armatürlerin kurulu olduğu iki farklı yol üzerinde renkli ve renksiz hedeflerin farklı yaşlarda kullanıcılar üzerinde ve parlılık ölçümlerine göre etkisi ölçülmüştür. Alınan sonuçlara göre LED armatürler altında hedefin YBSB tesisata göre daha görülebilir olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca sonuçlara göre ışık kaynağı renginin yol yüzeyi üzerindeki objenin görülebilirliğine etkisi olduğu görülmüştür. Bu durum oldukça önemlidir çünkü nesne ve yol yüzeyinin parlılığı arasındaki fark küçük olduğunda, renk farklılığı yol üzerindeki tehlikeli nesnelerin belirlenmesi için öne çıkan bir rol oynamaktadır[7].

1.2 Tezin Amacı

Yol aydınlatma konusunda yeni gelişmeler ve mevcut durumdaki sistemlerin incelenmesi, üretilen aydınlatma aygıtların fotometrik verilerinin standartlara uygun olup olmadıklarının saptanması, verimlilik açısından analizlerinin yapılması, simülasyon programında yol sınıflarına göre aydınlatma kalite parametrelerinin ölçülmesi, bu değerlendirmeler ışığında yeni ve eski sistemler üzerinde avantaj ve dezavantajların ortaya konulması amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Yol aydınlatma aygıtlarının tasarımı ve kullanımında fotometrik özelliklerinin ortaya konulması amacıyla laboratuvar ortamında son teknoloji cihazlar ile uygun ölçümlerin alınması sağlanmıştır. Ülkemizde bu konu üzerinde yapılan çalışmalarda fotometrik özellikler dikkate alınmadan sadece armatürlerin yeni teknoloji LED sistemler ile değiştirilmesi ile gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışma sonucunda, ülkemizde yol aydınlatma aygıtları üzerinde üretim yapan firmaların ürünlerinin fotometrik açıdan gerçek performansları ölçülmüş olup simülasyon üzerinde aygıtların farklı yol tiplerinde uygunluğu ortaya konulmuştur. Sonuçlardan da görülmüştür ki her armatürün tasarımsal yapısına göre farklı bir optimum çözümü bulunmaktadır. Direk açıklığı, montaj yüksekliği, taşıyıcı kol uzunluğu, taşıyıcı kolun eğimi gibi yol üzerindeki parametreler her aygıt için farklı değerlerde

optimum performansı sağlamıştır. Bu sayede aygıt tasarımının önemi, yol için uygunluğu ve kalite parametrelerini sağlamaları gerektiği üzerinde sonuca varılmıştır.

YOL AYDINLATMA KRİTERLERİ VE STANDARTLARI

Yol aydınlatmasında esas olan sürücünün görüş emniyetinin sağlanabilmesi, yol boyunca ortaya çıkan hedefleri ayırt edilebilmesidir. Gece meydana gelen kazaların büyük bir kısmı görmeden oluşan problemlerden kaynaklanmaktadır. Doğru aydınlatmanın yapılabilmesi yolun kendisi başta olmak üzere, araç yoğunluğu, hava şartları, yolun yansıtma yüzeyi, ışığın rengi, armatürün ve lambanın özellikleri vb. gibi birçok parametre göz önüne alınmaktadır.[8]

Tasarım hesaplarının yapılabilmesi için minimum olması gereken büyüklüklere ihtiyaç vardır. Her konuda olduğu gibi bu konuda da günümüz koşullarında yıllardan beri deney ve test yolları ile en ideal sonuçlara ulaşmak için çalışma yapan birimler bulunmaktadır. Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) ve Avrupa Birliği Standartlar (CEN) tüm dünyada yol aydınlatması standartları ile ilgili temel alınmaktadır. Ülkemizde ise bu konu ile ilgili Türk Standartları Enstitüsü ve yerleşim alanlarındaki yol aydınlatmasından sorumlu olan Elektrik Dağıtım Kuruluşlarının hazırlamış olduğu belirli standartlar ve şartnameler bulunmaktadır. [9][10]

Gelişen teknoloji ile birlikte bu standartların da tekrar gözden geçirilmesi mevcut durumların kontrol edilmesi, araştırılması devam eden konular arasındadır. Aydınlatma dünyasına LED sistemlerin girmesi ile birlikte yol aydınlatmasında da kullanılmaya başlanmış olup bu konuda ciddi arge çalışmaları devam etmektedir.

2.1 Yol Tanımları ve Aydınlatma Sınıfları

Aydınlatma tasarımı yapılırken ilk olarak belirlenmesi gereken husus standartlarda belirtilmiş olan uygun yol sınıfının seçilmesidir. Bu sınıflandırma yolun karmaşıklığına, trafik yoğunluğuna, araçların hız limitlerine, yonca kavşak ayrımı vb. yol üzerinde aydınlatmayı etkileyecek parametrelere göre oluşturulmuştur. Sürücünün görüş emniyetini sağlayacak minimum aydınlatma kalite büyüklükleri bu yol sınıflarına göre belirlenmiştir.[9]

Yol sınıfları da kendi arasında kullanıcı durumlarına ve yol koşullarına göre CEN'in oluşturduğu standartlara göre aşağıda belirtildiği şekilde farklı harfler ile isimlendirilmiştir.[11]

ME serisi aydınlatma sınıfları orta ve yüksek sürüş hızlarındaki trafik yollarında motorlu taşıt sürücüleri için tasarlanmıştır. MEW serisi aydınlatma sınıfları ise yine motorlu taşıt sürücüleri için oluşturulmuş olup yalnız bazı ülkelerin iklim koşullarına bağlı olarak sürekli ıslak ve nemli olan yol yüzeyleri için seçilmesi gereken standartlar verilmiştir.[11]

CE serisi yol sınıfları bulvarlar, bazı yoğun yol kavşakları, dolambaçlı yollar, kuyruk oluşan yollar ve benzeri yoğun alanlardaki motorlu taşıt sürücüleri ve diğer yol kullanıcıları için oluşturulmuştur. [11]

S sınıfları ve A sınıfları yayalar, yaya kaldırımındaki bisikletliler, bisiklet yolları, güvenlik şeritleri ve bir trafik yolunun taşıt yolu boyunca veya ayrı olarak uzanan diğer yol alanları ile yayalara ayrılmış caddeler, park sahaları, okul bahçeleri vb. için amaçlanmıştır. [11]

ES sınıfları güvenliğin artırılması ve suçun azaltılması amacıyla yaya alanlarına yönelik ilave sınıflar olarak amaçlanmıştır. [11]

EV sınıfları düşey yüzeylerin görülmesine ihtiyaç duyulduğu durumlarda (örneğin ara yolu bulunan kavşak alanları için) ilave sınıflar olarak amaçlanmıştır[11].

Bu sınıflandırmaların yanında ülkemizde TEDAŞ'ın hazırlamış olduğu ve uygulamalarda dikkate aldığı sınıflandırma Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Türkiye’de şehiriçi yollar ve aydınlatma sınıfları [12]

YOL TANIMI	AYDINLATMA SINIFI
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 km/h ≤ hız < 90 km/h; 3 km'den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayırımı var; 50 km/h ≤ hız < 90 km/h; 3 km'den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayırımı yok; hız < 50 km/h;	M1 M2 M3
Şehiriçi yollar (yerleşim alanlarına giriş çıkışın yapıldığı ana yollar ve bağlantı yolları) hız ≥ 50 km/h; 3 km'den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayırımı var; hız ≥ 50 km/h; 3 km'den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayırımı yok; hız < 50 km/h; 3 km'den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayırımı var; hız < 50 km/h; 3 km'den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayırımı yok;	M3 M4 M4 M5
Yerleşim ikametgah bölgelerindeki yollar 30 km/h ≤ hız < 50 km/h; suç oranı yüksek; 30 km/h ≤ 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

Tanımlanan yol türlerine göre aydınlatma sınıflarına bağlı olarak standartlaştırılmış aydınlatma büyüklükleri Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2 Aydınlatma sınıflarına bağlı minimum aydınlatma kalite büyüklükleri [12]

Aydınlatma Sınıfı	Lort (cd/m ²)	U _o	U _L	TI (%)	SR
M1	≥ 2.0	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 10	≥ 0.5
M2	≥ 1.5	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 10	≥ 0.5
M3	≥ 1.0	≥ 0.4	≥ 0.5	≤ 10	≥ 0.5
M4	≥ 0.75	≥ 0.4	≥ 0.5	≤ 15	≥ 0.5
M5	≥ 0.50	≥ 0.35	≥ 0.4	≤ 15	≥ 0.5
M6	≥ 0.30	≥ 0.35	≥ 0.4	≤ 15	

Burada

L_o Yolun ortalama parlıltısı (cd/m²)

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

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

TI Bağıl esik artışı ($TI = \{\Delta L_K - \Delta L_E\} / \Delta L_E$) (armatürlerdeki istenmeyen kamaşma ile neden olunan görülebilirlik kaybı ölçüsü)

SR Çevreleme oranı

Yukarıdaki çizelgede verildiği üzere aydınlatma sınıflarına bağlı olarak gerekli değerlerin aydınlatma tasarımında sağlanması önceliklidir. Bundan sonra da yapılacak ölçümlerde gerek simülasyon değerlerinde gerekse yol üzerinde yapılan uygulamalı çalışmalarda yukarıdaki parametrelere göre değerlendirme yapılacaktır. Bu değerleri sağlayamayan tasarımlar yeterli aydınlatma koşullarını gerçekleştirilemeyecektir.

Mevcut yolun uygun aydınlatmaya sahip olup olmadığı yol üzerinde yapılan ölçümler ile yukarıda belirtilen parametrelere bağlı olarak belirlenebilir. Yeni bir aydınlatma tasarımı için ise yol sınıflarına bağlı olarak seçilen ışık kaynaklarının güçleri ve bu güçlere bağlı olarak da yolun aydınlatılma biçimi ve direkler arası mesafenin de özellikle enerji verimliliği açısından belirli standartlara uyması gerekmektedir. Konu ile ilgili TEDAŞ'ın oluşturmuş olduğu teknik şartnamede önerilen durumlar Çizelge 2.3' de verilmiştir.

Çizelge 2.3 Yol Tiplerine Göre Armatürler için Minimum Tasarım Değerleri[12]

Lamba Gücü(W)	Aydınlatma Düzenekleri	Aydınlatma Sınıfı	Şerit Sayısı	Şerit Genişliği Min(m)	Refüj Genişliği Min(m)	Direkler Arası Açıklık Minimum(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

2.2 Aydınlatma Kriterleri

Çizelge 2.2'de verilmiş olan parametreler aydınlatma ile ilgili temel terimlerdir. Bunların detaylı içerikleri aşağıda verilmiştir.

2.2.1 Yol Yüzeyinin Ortalama Parıltısı

Yol yüzeyinin parlaklığının ölçüsü bize parıltıyı verir. Yolun kendi yansıtma özelliği ve çevresinden almış olduğu ışığı yansıtmasıyla genel bir değer oluşturur. Aynı aydınlık düzeyinde farklı asfalt yollarda parıltı değerleri farklılık gösterebilir. Birim alana düşen ışık şiddeti parıltının değerini verir ve L sembolü gösterilir. Işık yayan bir düzlemin belli bir noktasının bu yüzeyin normali ile belli bir α açısı yapan doğrultudaki ΔI_α ışık şiddetinin, bu doğrultuya dik düzlemdeki ΔA_g görünen alanına bölümü, o yüzeyin o noktası ve o doğrultudaki parıltısıdır.[13][14]

Yol yüzeyinin her noktası için parıltı değeri aynı değildir, ölçüm yapılırken bu değerlerin ortalaması alınır. Yol yüzeylerinin parıltısı sürücünün görme alanındaki cisimleri(taşıtlar, yayalar, engeller vb.) görebilmesi açısından önemli bir faktördür. Parıltısı düşük yüzeylerde karşıdan gelen araçların farlarının etkisiyle karanlık görünüm meydana gelir, bu da istenmeyen bir durumdur. Bir cismin görünebilmesi için kendi parıltısı ile fon parıltısı arasında fark olması gerekir. Yüksek parıltı sürücünün göz duyarlılığını ve cisimleri ayırt edebilmek için kontrastı sağlar[13].

Ortalama parıltı hesabı yol yüzeyleri için standartlarda fotometrik ortam olarak hesap edilmiştir ve değerler buna göre oluşturulmuştur. Araştırmaların ilerlemesiyle birlikte yapılan bu standartın eksik olduğu gözlemlenmiştir. Fotopik ölçümler gündüz görme koşullarını içerir.Gece görme koşullarındaki ölçümler skotopik ölçümler olarak adlandırılır. Görme açısından bir diğer önemli faktör ise 'mezopik' görme yani gece ile gündüz arasındaki bölgede yer alır. Mezopik parıltı hesaplanırken, ışık kaynağının fotopik parıltısı ve S/P(skotopik görme/fotopik görme) oranına ihtiyaç duyulur.Mezopik görüşteki spektral dağılım hassasiyeti LED gibi önemli mavi unsurları barındıran ışık kaynakları altında görüş performansının göz ardı edilmesi ile sonuçlanabilir.Düşük ışık seviyelerindeki dış aydınlatma uygulamalarında fotopik ölçüm her zaman performansın yeterli unsuru değildir, yeni bir 'mezopik' ölçüme ihtiyaç duyulmaktadır. CIE 'in 2010 yılındaki yayınında mezopik fotometrik sistemde yüksek S/P oranındaki ışık kaynağı daha efektif olduğu belirtilmiştir [6].

2.2.2 Ortalama Düzgünlük ve Boyuna Düzgünlük

Yol yüzeyinin ortalama parıltısından sonra bir diğer görüş performansını etkileyen faktör düzgünlük olarak tanımladığımız yine parıltı değerlerine bağlı oluşan büyüklüktür. Yol yüzeyinde her noktanın aynı parıltıyı sağlamadığını daha önce belirtmiştik. Parıltının zayıf olduğu noktalarda kontrast sağlamadığı için cisimlerin görülebilme ihtimali oldukça düşüktür. Yol yüzeyindeki tüm bölgeler için yeterli düzeyde aydınlığın sağlanması gerekir. Bu sebeple minimum parıltı ile ortalama parıltı seviyesinin belirli bir düzeyin üstünde olması gerekir ve ortalama düzgünlük olarak karşımıza çıkar. Minimum parıltının ortalama parıltıya bölünmesi ile hesaplanır.

Sürücünün görme performansını etkileyen diğer faktör de görme alanında ard arda oluşan karanlık ve fazla aydınlık noktalardır. Görüntüde oluşan bu fark ise gözde 'zebra etkisi' adı verilen rahatsız edici bir etkiye neden olur. Bu etkinin de oluşmaması için görüş alanında minimum ve maksimum parıltı arasındaki farkın belirli bir seviyenin üstünde olması gerekir. Boyuna düzgünlük olarak tanımlanan bu değer, yol üzerindeki minimum parıltının maksimum parıltıya bölünmesi ile hesaplanır.[13]

2.2.3 Kamaşma

Kamaşma gözün çok yüksek parıltılarda göremez duruma gelmesi olarak tanımlanabilir. Sürücülerin görüş emniyeti açısından istenmeyen bu durumun önlenmesi gerekir. Kamaşmanın kontrolü G ve TI olarak isimlendirilen büyüklüklerle ifade edilmektedir. G sembolü ile ifade edilen büyüklük yolun parıltısını, ışığın rengini, parıltı düzgünlüğü gibi faktörleri içine alarak kamaşmayı derecelendirmiştir. Yalnız bu şekilde yapılan kontrol artık geçerliliğini yitirmiştir. TI bağıl eşik artışı olarak ifade edilen fizyolojik kamaşmanın neden olduğu görülebilirlik azalmasının ölçüsü olarak kamaşma durumunu belirlemek için daha yaygın kullanılır. Bağıl Eşik Artışı istenmeyen kamaşmayı kontrol etmek için kullanılır. Bu değer de hesaplanabilmesi için perdeleme parıltısına ve ortalama parıltıya ihtiyaç duyulur. Aşağıdaki şekilde formüle edilmiştir[15].

$$\%TI = (65 * L_v) / L_0^{0,8} \quad (2.1)$$

Burada

L_v Perdeleme parıltısı(kapalı parıltı eşiği)

L_o Ortalama Parıltı

Kapalı parıltı eşiği ise yol hizasındaki her bir armatür için ayrı ayrı hesaplanan gözlemcinin göz hizasındaki aydınlık şiddeti ile görüş hattı ile gözlemci arasındaki açının formülüne edilerek toplanmasıyla elde edilir.

2.2.4 Çevreleme Oranı

Taşıt yolunun, hemen dış kenarlarında bulunan şeritlerin üzerindeki ortalama aydınlatma yoğunluğunun, hemen iç kenarlarında bulunan şeritleri üzerindeki ortalama aydınlatma şiddetine oranı olarak tanımlanır. Hesaplamalarda yolun kaldırım tarafındaki 5 metrelik alanı ile yol tarafındaki 5 metrelik alanın ortalama aydınlık düzeyi alınarak hesaplanır. Çevreleme oranı sürücülerin yol kenarındaki yayaları, yol ayrımlarını refrüjleri ve araçları görebilmeleri için önemlidir, aradaki bu yoğunluk farkı nedeniyle istenilen görüş sağlanamayıp kazalara sebebiyet verebilir. [10]

2.3 Yol Aydınlatmasında Kullanılan Işık Kaynakları

Yol aydınlatmasında kullanılan ışık kaynaklarını genel olarak iki kısımda inceleyebiliriz. Bunlardan ilki konvansiyonel aydınlatma dediğimiz gaz deşarjlı lambaların oluşturduğu armatüre takılıp çıkarılabilen gerektiğinde değişimi yapılabilen kaynaklardan oluşmaktadır. İkinci durumda ise yeni nesil sistemler dediğimiz katı hal aydınlatma olarak ifade edilen yarı iletken diyotlarla elde edilen LED adı verdiğimiz sistemlerden oluşmaktadır.

Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar, alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar, metal halide lambalar, civa buharlı ve bazı durumlarda floresan lambalar geçmişten günümüze yol aydınlatması çalışmalarında konvansiyonel ışık kaynağı olarak kullanılmışlardır. [2] Çizelge 2.4 'de motorlu taşıt trafiğinde yol aydınlatması için kullanılan lambalar ve bunların karakteristik özellikleri ile bilgiler verilmiştir.

Çizelge 2.4 Yol Aydınlatmasında Kullanılan Işık Kaynaklarının Karakteristikleri[16]

Lamba Tipi	lm/W	Tk	Ra	Lamba Ömrü(h)
Yüksek Basınçlı Civa Buharlı	60	4500	40-60	15.000
Metal Halide(MH)	100	4000	60-80	20.000
Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı	120-140	2000	25	20.000
Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı	150-190	1700	0	15.000
Floresan Boru Lamba	70-90	4000	80	15-20.000
Kompakt Floresan CFL	70-75	4000	80	12-20000
LED(White)	80-150	3000-6000	60-80	35-100000

Burada

lm/W Lamba Etkinliği,

Tk Renk Sıcaklığı,

Ra Renksel Geriverim,

h Lamba ömrü(%20'lik kayıpa kadar)

Lambanın enerji etkinliğinin ölçümü lm/W olarak ifade edilen ışık akısı etkinliği ile değerlendirilir. Lambanın kendisinin dışında elektriksel donanımı özellikle gaz deşarjlı lambalarda balastlar ve katı hal aydınlatmasında sürücüler enerji tüketirler. Balastlar ve sürücülerde oluşan bu kayıplar da lambanın lm/W değerine ilave edilir.[16]

Lamba ömrü olarak ifade edilen terim aydınlatma aygıtının 100 saat yaşlandırılmasından sonra sahip olduğu ışık akısının %30'unu kaybettiği ana kadar ki geçen süre olarak saat cinsinden tanımlanmaktadır. Ekteki çizelgede ise bu oran %20 olarak verilmiştir.

Yol aydınlatmasında günümüzde en yaygın kullanılan ışık kaynağı yüksek basınçlı sodyum buharlı(YBSB) lambalardır ve 1968'den beri yol aydınlatmasında kullanılmaktadır. YBSB lambalar yüksek ışık etkinlikleri ve düşük renksel geriverime sahip özellikleri ile bilinmektedir. Metal halide lambalar yüksek renksel geriverimleri ile görselliğin ön plana çıktığı daha çok kentsel yol aydınlatmalarında kullanılmaktadır, düşük etkinlikleri sebebiyle enerji verimliliği açısından YBSB lambalar kadar avantaj sağlamamaktadır[17].

Bunların dışında yol aydınlatmasında büyük ilerlemeler kaydeden LED ürünler aydınlatma dünyasına yaklaşık 40 yıl önce far lambaları olarak girmiştir,ışık

etkinliklerindeki güçlü gelişimleri ile yol aydınlatmasında kullanımı konusunda seçenekler arasında hızla yerini almıştır. Laboratuvar ortamında ilk zamanlara göre elde edilen ışık etkinlikleri giderek artmakta ve yol aydınlatmasında YBSB armatürler ile rekabet edecek seviyeye gelmektedir. Bununla birlikte güvenilirlik, ısı yayılımı, fiyat gibi henüz aşılamayan sorunlar nedeniyle piyasadaki yaygın üretimini ve kullanımını engellemektedir[17]. Son yıllarda, LED teknolojisindeki hızlı gelişmelerle yüksek etkinlik değerleri elde edilmiştir. Cree firması LED'lerle laboratuvar ortamında 254 lm/W etkinlik değerine ulaşmıştır[18].

Ledlerin bir diğer avantajları ise tablodan da anlaşılacağı üzere uzun kullanım ömürleri olarak görülmektedir. LED piyasasında 100000 saate varan ömür hesapları yapılmaktadır. Diğer ışık kaynaklarında olduğu gibi LED ışık kaynaklarının da zamana bağlı olarak çıkış akısında azalmalar olmaktadır. Bir LED paketi için 'faydalanma süresi' genellikle çıkış lümen değerinin %30'unu kaybettiği ana kadar ki geçen süre, başka bir deyişle lümen değerinin %70 olduğu süre olarak ifade edilir. Şu anki durumda üreticiler tarafından LED armatürlerin kullanım süresinin yaklaşık 50000 saat olduğu iddaa edilmektedir. Şu da unutulmamalıdır ki LED armatürler elektronik, soğutucu, kılıf, kablolama ve diğer donanımları ile bir sistem olarak bulunmaktadır ve ömürlerine etki eden bileşenlerdir. Dış aydınlatma sektöründe gelecekte önemli bir yer vadeden LED diğer armatürlerin yüksek bakım ve yenileme maliyetleri nedeniyle uzun ömürleri bakımından büyük talep görmektedir. Beyaz LEDler dış aydınlatma piyasasında etkili olurken, ömürlerinin artmaya devam etmesi piyasadaki potansiyelini giderek arttırmaktadır. 2030 yılına kadar LED aydınlatmanın yıllık maliyetinin HPS armatürlerin yarısı kadar olması beklenmektedir[19].

AYDINLATMA AYGITLARININ PERFORMANS ÖZELLİKLERİ

Yol aydınlatma sistemlerinde kullanılan aygıtların performanslarının değerlendirilebilmesi için kullanılan ışık kaynağı ile birlikte armatürün mevcut yol durumunda gerçekleştirdiği aydınlatma parametreleri hesaplanmalıdır. Armatürler üretim aşamasından sonra belirli test ve deneylere tabi tutulurlar. Yol aydınlatmasında kullanılacak armatürlerde bu testlerin sonucu armatürlerin etiket bilgilerinde ve eklerinde yer almalıdır.

Armatürlerin karakteristik verilerini veren fotometrik, radyometrik ve elektriksel değerleri laboratuvar ortamında gonyofotometre, ulbright küresi, enerji analizörü olarak adlandırdığımız ileri teknoloji cihazlar ile ölçülür. Ayrıca armatürlerin tasarım aşamasında da bu cihazlardan yararlanılır.

3.1 Armatürlerin Fotometrik Özellikleri

Armatürlerin fotometrik özellikleri denildiğinde ışıksal olarak sahip olduğu veriler anlaşılır. Daha açık bir ifadeyle aydınlatma aygıtının uzaysal düzlemde hangi yöne ne kadar ışık verdiğinin saptanmasıyla elde edilen özelliklerdir. Bu dağılımla birlikte aygıtın verdiği maksimum ışık şiddeti, tepe açısı, standart geriverimi ortaya çıkarılabilir ve kamaşma kontrolü yapılabilir. [20]

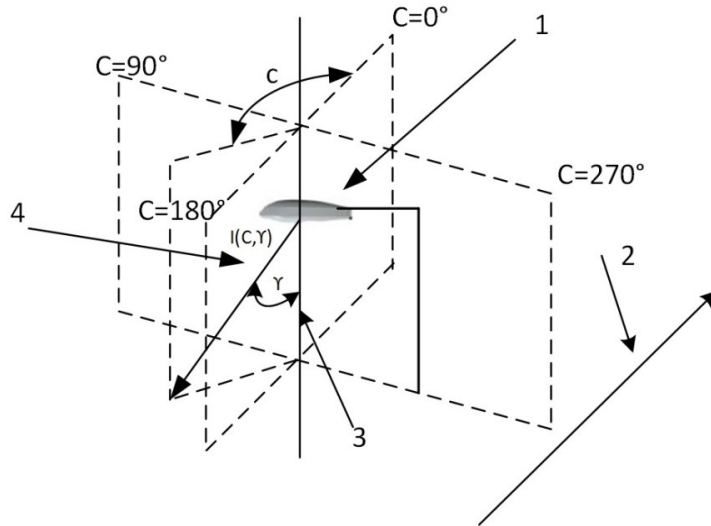
3.1.1 Işık Dağılım Eğrileri(I-çizelgesi)

Işık şiddeti lambadaki bütün ışık kaynaklarından gelen kilolümen başında kandela olarak(cd/klm) ile ifade edilir[12]. Kaynaktan çıkan ışığın bütün yönlerde yayılmasıyla

elde edilen ışık şiddetinin toplanması ışık dağılımı olarak adlandırılır. Pratikte kullanılan ışık kaynağı yüzeyde daha az veya daha fazla miktarda aydınlık oluşturur, bu ışınım şiddeti kaynağın yapısıyla doğrudan ilgilidir ve bu dağılan yönlerde oluşan ışık şiddeti çeşitli değerler gösterir. Gonyofotometre gibi özel cihazlar dikey bir eksene bağlı olarak bütün uzaysal yönlerde ışık kaynağının ışık şiddetini belirlemek için üretilmiştir. Eğer kaynaktan çıkan ışığın ışık şiddeti yalnız uzaysal yönlerde vektörler ile gösterilirse, kaynağın oluşturduğu toplam ışık akısı değeri aşağıdaki formülle hesaplanır[21].

$$\Phi = \int_V \vec{I} \cdot d\vec{W} \quad (3.1)$$

Armatür için gerekli olan eğriler teorik olarak bir şiddet çizelgesi(I-Çizelge) olarak adlandırılan yöntem ile elde edilir. Işık kaynağı ile birlikte armatüre ait özellikler hesaplanırken hesaplanan bu ışık değerleri tablo halinde gösterilir. [22]



Şekil 3.1 C,Y düzleminde yol armatürünün koordinatsal olarak gösterimi[22]

Burada

1 Ölçüm sırasında kendi eğikliğindeki armatür

2 Boylamasına yön

3 İlk fotometrik eksen

4 Işık şiddetinin yönü

Y Işık yolunun fotometrik açısı

C Fotometrik azimut

En yaygın kullanılan ışık dağılım eğrileri A, B ve C olmak üzere üç düzlemde ifade edilir. Yol aydınlatması armatürleri için istenen düzlem dönme açısı taşıt yoluna dik olan C düzlemidir. Şekil 3.1’de verilen düzlemde C düzlemindeki ışık şiddetinin açısal yönü belirtilmiştir. Fotometrik eğri ışık akısının 1000 lm olarak alındığını ifade eder, normal şartlarda ışık kaynağı daha büyük bir ışık akısı değerine sahiptir. Bu şekilde basit bir oranla ışık şiddeti değerleri hesaplanması sağlanır[21].

Armatür ışık şiddetini hesaplayabilmek için (C, γ) koordinat düzleminde standartlarda belirtilen şartlar sağlanmalıdır. Örneğin TSE’nin belirlemiş olduğu standarta göre düşey düzlemde bulunan armatürler için açısal aralıklar 0°’den 180° ‘ye kadar en çok 2,5° olmalıdır. Açısal aralıklar belirlendiğinde her bir derece için ışık şiddeti değerleri hesaplanır ve enterpolasyon yöntemi ile çizelgesinden yararlanılarak ışık dağılım eğrisi elde edilir. Teoriksel olarak yapılan matematiksel formüller ile armatür kendi eksenini etrafında döndürülerek ışık şiddeti değerleri hesaplanır. Buradan hareketle yol aydınlatmasında bizim için kullanılacak en önemli nokta parıltıyı hesaplayabilmektir. Parıltı hesabı yapabilmek için armatürün I(C, γ) değerlerinin hesaplanması gerekir. TEDAŞ’ın hazırlamış olduğu MYD/95-009.B numaralı Yol Aydınlatma Armatürleri teknik şartnamesinde armatür için verilmesi gereken ışık şiddeti değerleri Çizelge 3.1’de belirtilen tablodaki gibi hesaplanıp armatür raporlarına eklenmelidir. Toplam 2664 adet ışık şiddeti değeri gereklidir[12][22][14].

Çizelge 3.1 Armatüre ait I(C, γ) ışık şiddeti değerleri(cd/1000lm olarak)[12]

$\gamma \setminus C$	0°	5°	10°	15°	20°5° aralıklarla.....	335°	340°	345°	350°	355°
0°											
2.5°											
5°											
. 2.5° Aralıklarla .											
85°											
87.5°											
90°											

Işık şiddeti çizelgesinden faydalanarak elde edilecek bir diğer durumda kamaşmanın kontrol edilmesidir. Armatürlerin düşeyle yaptığı belirli açı değerlerinde maksimum

olması gereken ışık şiddeti değerleri vardır. Bu değerlerin üstündeki ışık şiddetinde kamaşma durumu meydana gelmektedir. C düzlemindeki $C=0^\circ$ ile $C=20^\circ$ arasındaki ışık dağılım eğrilerinin şekil ve değerlerine göre armatürler ekranlı, ekransız ve yarı ekranlı olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Çizelge 3.2’de belirtilen armatür sınıflandırılmasında düşeyle yaptığı açılarda olması gereken maksimum ışık şiddeti değerleri belirtilmiştir[23].

Çizelge 3.2 Kamaşma durumuna göre armatürlerin sınıflandırılması[23]

Armatür Tipi	I_{80°	I_{90°	I_{maks} in doğrultusu (Υ açısı)
Ekranlı	30cd	10cd	0-65°
Yarı ekranlı	100cd	50cd	0-75°
Ekranlı	*1000cd		

Burada

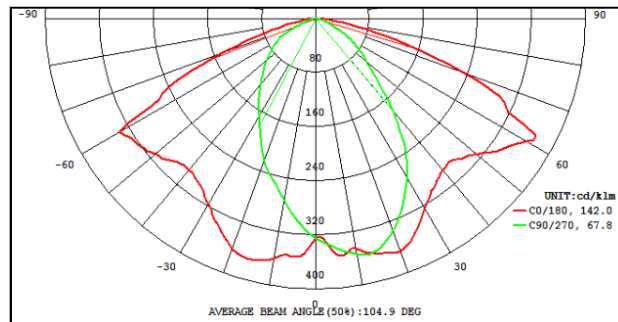
I_{80° $C=0^\circ$ ve $C=20^\circ$ lik düzlemlerde düşeye göre $\Upsilon=80^\circ$ lik açı altındaki en büyük ışık şiddeti değeri(cd/klm)

I_{90° $C=0^\circ$ ve $C=20^\circ$ lik düzlemlerde düşeye göre $\Upsilon=90^\circ$ lik açı altındaki en büyük ışık şiddeti değeri(cd/klm),

Υ_{maks} Maksimum ışık şiddetinin oluşturduğu açı değeri

TEDAŞ’ın Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik şartnamesinde kamaşma kontrolü açısından $I_{80^\circ} \leq 100cd/1000lm$, $I_{90^\circ} \leq 500cd/1000lm$ ve maksimum ışık şiddetinin düşeyle yaptığı açı $65^\circ \leq \Upsilon_{maks} \leq 75^\circ$ koşullarını sağlaması gerektiği belirtilmiştir[12].

Yol aydınlatma armatürlerinin en önemli kısmı armatürün ışık kaynağından aldığı ışığı en uygun şekilde dağıtmak üzere dağıtıcı ve yansıtıcı ekipmanları oluşturur. Armatürün verimi ile ilgili olan bu kısım ışık dağılım eğrilerinin ortaya çıkarılması ile oluşur.



Şekil 3.2 Bir yol aydınlatma armatürünün C düzleminde ışık dağılım eğrisi

Şekil 3.2’de örnek bir yol aydınlatması armatürünün ışık dağılım yüzeyinin armatürden geçen maksimum ışık şiddeti vektörünün bulunduğu düşey düzlem ile ara kesiti olan ‘ışık dağılım eğrisi’ görülmektedir. Tepe açısı değeri ve dağılım bulunduğu C düzlemleri gösterilmiştir.

3.1.2 Parıltı

Parıltı gözün retinasında oluşan, bir yüzeyde meydana gelen etkidir, bu etki hem ışık üreten birincil kaynaktan hem de ikincil bir kaynak veya ışığın yansıdığı yüzeyden gelebilir[21]. Teorik olarak ışık kaynağının yüzeyin belirli bir noktasında oluşturduğu ışık şiddetinin yüzeyin alanına bölünmesi ile elde edilir. Yol aydınlatmasında yol yüzeyi üzerinde oluşan parıltı hesabı için, armatür ışık dağılım eğrileri laboratuvar ortamında ölçüldükten ve açısal ışık değerleri tespit edildikten sonra uygulama alanında yani taşıt yolunun belirli bir alanında hesaplaması yapılır. Yol üzerinde bir noktada oluşan parıltı matematiksel olarak aşağıda verilen formülle hesaplanır[22].

$$L = \frac{I_{rx} \phi_x MF_x 10^{-4}}{H^2} \quad (3.2)$$

Burada

L Parıltı (cd/m^2)

I (C, γ) yönündeki ışık şiddeti(cd/klm)

r parıltı katsayısı(steradyan)

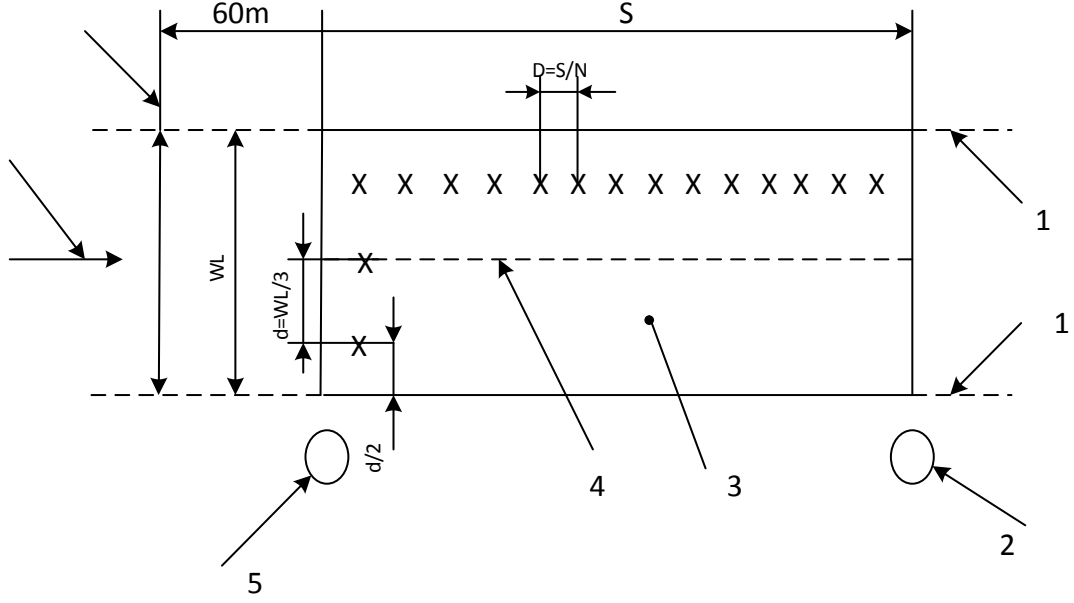
MF Lamba akısı bakım faktörü ile armatür bakım faktörü çarpımı

H Armatür montaj yüksekliği(m)

Yol üzerinde birden fazla armatür olduğu için parıltı hesabı yapılırken bir noktaya gelen toplam parıltı için o nokta üzerine bütün armatürlerden gelen parıltının toplamı alınır.

Parıltının hesaplanacağı alan CEN’in oluşturduğu standartlara göre belirtilmiştir. Hesaplama alanı armatürün gözlemcinin 60m ilerisine yerleştirilen iki armatürü kapsamalıdır. Şekil 3.3’ de gösterilmiştir.

Birden fazla farklı aralıklarla armatür bulunduğu hesaplama en uzak aralıklı iki armatüre göre yapılmalıdır[22].



Şekil 3.4 Parıltı ölçümü için hesaplama noktalarının konumu

Burada

X enine ve boyuna hesaplama konumları

S aynı sıradaki armatürler arası uzaklık

N armatürler arası uzaklığa göre farklı değerler alır

$S \leq 30$ m için $N=10$;

$S > 30$ m için, $D \leq 3$ m sağlayan en küçük tamsayı. Hesaplama noktalarının enine ilk sırası ilk armatür ötesinde bir $D/2$ 'lik mesafede yerleştirilir

d enine yöndeki noktalar arasındaki aralıklar(m)

W_L şerit genişliği (m)

3.1.3 Toplam Işık Akısı

Işık kaynağından dönüştürülen enerjinin tamamı ışık olarak yararlanılamaz. Örneğin akkor flamanlı bir lamba elektrik enerjisinin belirli bir miktarını tüketir ve bu ısı enerjisine dönüştürülür. Bunun dışında kalan küçük bir parçası (yaklaşık %10) insan gözü tarafından ışık olarak algılanır, geri kalanı ise ısı enerjisi olarak kaybedilir. Bir kaynaktan çıkan ışık akısı ışık miktarının tamamıdır, ki bu ışık bir saniye içinde ya yayılır ya da radyasyon olarak salınır, başka bir deyişle insan gözünün hassasiyetine bağlı

olarak algıladığı radyasyon enerjisidir ve bir saniye içinde ışığa dönüştürülür[21]. Φ ile gösterilir ve birimi lümen dir. Toplam ışık akısı ise ışık kaynağından çıkan ve uzaya yayılan ışık akılarının toplamı olarak ifade edilir. Ulbright küresi olarak adlandırdığımız ölçüm cihazı da bu şekilde toplam ışık akısını ölçmek için tasarlanmıştır[24].

3.1.4 Armatür Verimi ve Etkinlik Faktörü

Aydınlatma aygıtının verimi içerisinde bulunan lambadan yayılan ışığın yüzde kaçını armatürün dışına çıkardığını ifade etmek için kullanılır. Tez çalışmasında armatür verimini hesaplamak için çıplak haldeki lamba ulbright küresinde ölçülmüştür ve daha sonra aynı lamba aydınlatma aygıtına takılarak gonyofotometre cihazında ışığın uzaysal dağılımı ile ışık akısı elde edilmiştir. Bu iki değer birbirilerine oranlanarak aydınlatma aygıtının verimi ortaya konmuştur.

Lambanın etkinlik faktörü ise lambadan çıkan ışık akısının lambanın harcadığı güce bölünmesi ile elde edilir ve birimi lm/W 'dır. Bu da temel olarak ışık kaynağının verimliliği ile ilgilidir. Enerji tasarrufu açısından ışık kaynağının yüksek etkinlik faktörüne sahip olması istenir.

Çizelge 3.3 Yol aydınlatmasında yaygın olarak kullanılan kaynakların etkinlikleri[3]

Lamba	Etkinlik Faktörü(lm/W)
HPM	25-55
MH	50-105
HPS	55-140
LPS	70-170
LED	80-250

Yol aydınlatmasında farklı etkinlik faktörüne sahip ışık kaynakları kullanılmaktadır. Civa buharlı lambalar ve metal halide lambalar düşük etkinlik faktörüne sahip, yüksek basınçlı sodyum buharlı ve alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar yüksek etkinlik faktörüne sahiptir. Çizelge 3.3'de yaygın olarak kullanılan ışık kaynaklarının etkinlik faktör aralıkları verilmiştir.

Teknolojinin gelişimi ile birlikte LED sistemler yol aydınlatmasında gelecek vadede uygulamalar arasında yer almaktadır. Power LED olarak isimlendirilenlerde tek LED'in gücü 3 W civarına ve laboratuvar ortamında etkinlik faktörleri 231 lm/W değerine

ulaşmıştır[18]. Mevcut kullanımdaki ledli armatürlerde henüz uygulamada bu değerler görülememektedir.

3.2 Armatürlerin Elektriksel Özellikleri

Bir armatürün elektriksel olarak değerleri çalışma voltajı, şebekeden çekteden çektiği akım, elektriksel güç ve bunlara bağlı olarak meydana gelen harmonik bozulmalar olarak ifade edilebilir. Temel olarak armatürün bu çalışma değerleri içinde bulunan ışık kaynağının şebekeden çektiği değerlerdir. Enerji analizörü kullanılarak elektriksel değerlerin elde edilmesi sağlanır.

3.2.1 Armatür Gücü

Güç birim zamanda devreden çekilen enerjidir. Doğru akım ile çalışan sistemlerde güç devreden çekilen akım ve gerilimin çarpılması ile elde edilir. Alternatif akım ile çalışan sistemlerde ise şebekeden çekilen gerçek güç görünür güç ile güç faktörünün çarpılması ile elde edilir. Yol aydınlatmasında ışık kaynaklarında amaç şebekeden minimum güç çekerek verilen ışık akısının maksimum olmasıdır. Bu da armatürlerin etkinliklerinin değerlendirilmesinde temel unsurdur.

3.2.2 Güç Faktörü

Güç faktörü alternatif akım şebekelerinde şebekeden çekilen gerçek gücün görünür güce oranı olarak tanımlanır. Enerji sistemlerinde güç kalitesi açısından güç faktörünün 1'e yakın olması istenir. Yol aydınlatmasında kullanılan gaz deşarjlı lambalar çalışma prensipleri gereği yapısında bulunan elektronik elemanlar sebebiyle şebekeden lineer olmayan yükler çekmektedir, bu da güç faktörü açısından önemli rol oynamaktadır. LED'li armatürlerdeki durum ise DC gerilim ile çalıştıklarından akım ve gerilim sabittir fakat bu gerilimi elde etmek için de sürücü olarak isimlendirilen doğrultucular ve dönüştürücüler kullanılmaktadır. Bu sistemlerde genellikle güç elektroniği elemanları ile oluşturuldukları için kapasitif güç çekmektedir ve harmonik üretmektedir buna bağlı olarak led ile aydınlatılmış yollarda bağlı buldukları tesislere ciddi anlamda zarar verebilmektedir. Bu durumun aşılması için de güç faktörü düzeltici özellikte dönüştürücüler kullanılmalıdır. Armatür tasarımında bu faktörler dikkate alınıp

laboratuvar ortamında ölçümlerinin yapıp şebeke sistemine etkileri ortaya konulmalıdır[25].

3.2.3 Toplam Harmonik Distorsiyon

Harmonik büyüklüklerin sınırlanmasını amaçlayan toplam harmonik distorsiyonu harmonik bileşenlerinin efektif değerinin temel bileşenin efektif değerine oranlanması ile edilir. Bu değer harmonikleri içeren periyodik dalga şeklinin, tam bir sinüs dalga şeklinden sapmasını tespit için kullanılır[26].Güç sistemlerinde oluşan harmonik bozulmanın bir ölçüsü olarak da tanımlanabilir. Deşarj lambaları ve Led'li armatürler yapısal özellikleri nedeniyle içerisinde bulundukları güç elektroniği elemanları şebekeden harmonik akımlar çekmekte ve lineer olmayan yükler meydana getirmektedirler. Dış aydınlatmada kullanılan sodyum buharlı armatürler özellikle üç ve üçün katları harmonik akım bileşenlerini çekerek üç fazlı dört iletkenli devrelerde nötr iletkeninin ısınmasına neden olmaktadır. Led'li sistemlerin konvansiyonel sistemlere göre enerji verimliliği açısından üstünlükleri olmasına rağmen yapılan ölçüm sonuçlarında gaz deşarjlı armatürlerden daha fazla harmonik ürettikleri ortaya konmuştur. Enerji sistemlerinde sistemin kalitesi açısından harmoniklerin minimuma indirilerek sistemin sürdürülebilirliğinin sağlanması gerekmektedir[25].

3.3 Işık rengi, Renk Sıcaklığı ve Renksel Geriverim

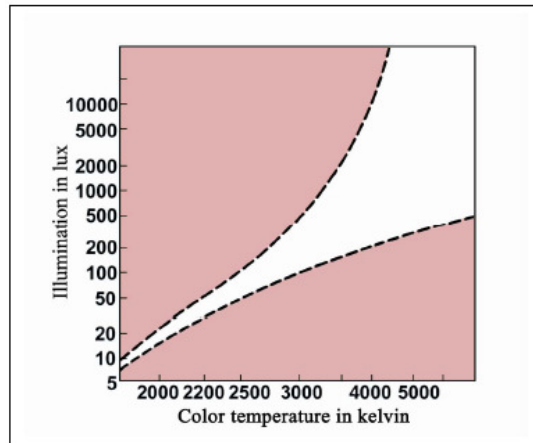
Renk sıcaklığı, ışık kaynağının yayımladığı ışık ile kara cismin renginin aynı olduğu sıcaklığın Kelvin(K) cinsinden değeridir. Renk sıcaklığının yükselen değerleri için ışık rengi;kırmızı-sarı-beyaz-mavi şeklinde değişim gösterir[24].

Renksel geriverim, bir ışık kaynağının aydınlattığı nesnelere, renk türü ile ilgili görüşleri üzerindeki etkisi olarak tanımlanır.Renksel geriverimi yüksek ışık kaynaklarının cismin gerçekte(gün ışığında) sahip oldukları renkler ile ışık kaynağı altında görüntüleri renk farkı düşük olur[24]. Renksel geriverim 0 ile 100 arasında bir sayı ile gösterilir, değer 100'e yaklaştıkça renksel geriverim yükselmektedir.

Renksel geriverim yol aydınlatmasında başlangıçta ışık kaynaklarının önemli bir özelliği olarak dikkate alınmamıştır. Son zamanlarda yapılan araştırmalar renksel geriverim

endeksi yüksek ışık kaynağının renk farklılığı yaratacağını ve bunun da özellikle kontrastın düşük olduğu durumlarda görüş sisteminin önemli bir parçası olduğunu açıklamaktadır. Ayrıca bazı araştırmacılar CRI(Renkssel Geriverim İndeksi) değeri yüksek ışık kaynakları ile aynı yüz tanıma mesafesini sağlamak için HPS armatürün iki kat aydınlatma seviyesi gerektiğini tespit etmişlerdir. Bazı ülkelerdeki standartlar ışık kaynakları yüksek CRI değerine sahip ise yol aydınlatmasında aydınlatma şiddetinin azaltılabileceğini belirtmektedir[17].

1941 yılında, Hollandalı araştırmacı A.A Kruithof renk sıcaklığı, aydınlık şiddeti ve aydınlatma sisteminin kalitesi arasında bir çizelge(Şekil 3.5) geliştirmiştir. Eğrinin beyaz alanda kalan kısmı istenilen bir ışık kaynağının renk sıcaklığı kombinasyonları ile aydınlatma şiddeti, renk sıcaklığı ve aydınlatma kombinasyonlarını ifade eder. Daha yüksek gölgeli bölgede aşırı derecede renkli ve doğal olmayan görüntüler meydana gelirken, daha düşük gölgeli bölgede soğuk, sönük görüntüler oluştuğu belirtilmiştir[17]

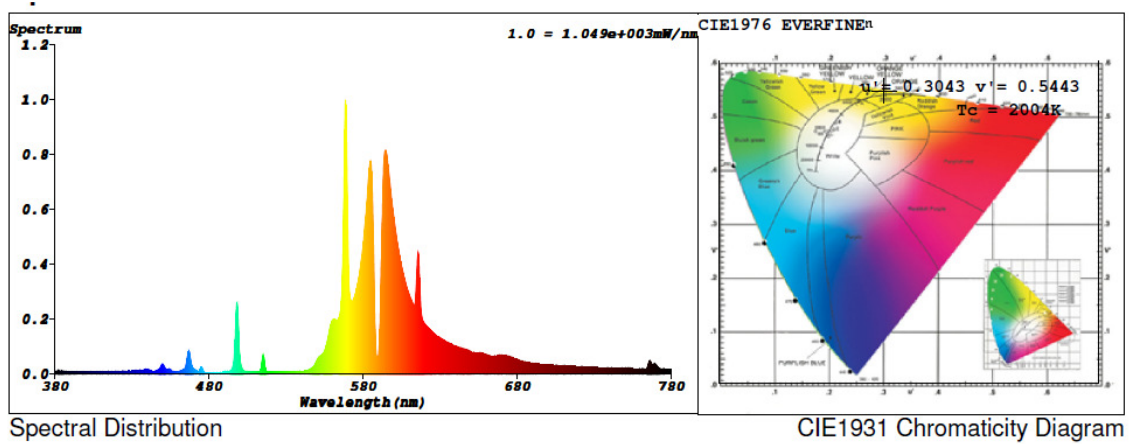


Şekil 3.5 Kruithof Etkisi

Kruithof'un eğrisine göre gözlemci aydınlatma seviyesi düştüğünde daha düşük renk sıcaklığında olan aydınlatmayı tercih eder ve aydınlatma şiddeti büyüdüğünde ise daha yüksek bir renk sıcaklığını tercih eder.[17] Yol aydınlatmasında bu durum renksel özellikleri nedeniyle LED armatürlerinde HPS armatürlerinden daha fazla ışığa ihtiyaç duymamıza neden olur. Bu durumda ledli yol aydınlatma sistemleri sürücüler açısından yüksek kabul görmeyecektir fakat Kruithof'un eğrisinde sadece gözü tatmin eden veya etmeyen genel bir aydınlatma durumu hakkında yorum yapılabilir. Yol aydınlatmasında

önemli bir durum olan renk sıcaklığı ile görüş yeteneği arasındaki ilişkiyi vermez. Bu karşılaştırmayı yapabilmek için de görüş yeteneklerinin incelenmesi gerekir[17].

Işık kaynağının renk sıcaklığı ve renksel geriverimi spektrometrik özellikleri olarak adlandırılır. Laboratuvar ortamında spektrometre ile renk sıcaklığı(color temperature) Tc, renksel geriverimi (Ra) sembolleri ile gösterilir. Işığın renksel özellikleri spektral bir dağılım şeklinde görülür. Şekil 3.6'da laboratuvar ortamında ölçümünü yaptığımız 150W sodyum buharlı lambanın renksel spektral renk dağılımı ve kolormatik diyagramı örnek olarak verilmiştir.



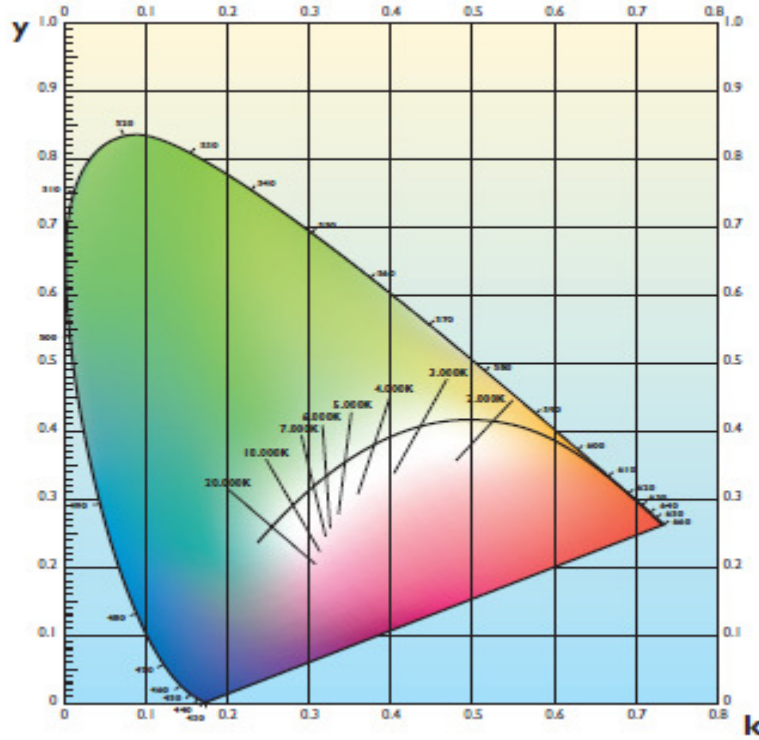
Şekil 3.6 150W YBSB lambanın spektrometre ile ölçümü

Yol aydınlatmasında kullanılan ışık kaynaklarını renksel karakteristikleri açısından bakıldığında, sodyum buharlı lambaların spektrometrik diyagramları oldukça geniş bir alana yayılır. Işık rengi parlak beyaz-sarı olarak görülür, yol aydınlatmasında renksel özellikleri açısından da kullanıma uygundur. Alçak basınçlı sodyum buharlı lambaların spektral dağılımı monokromatik yani tek renkli bir ışınlamadır ve altın sarısı renktedir. Işık renginin önemli olmadığı tesisatlarda kullanılır. Metal Halide lambalar ise renk ayırt etme özelliği çok iyi olup, renklerin belirgin olarak görünmesi istenen yerlerde kullanılır, ışık rengi beyazdır ve geriverimleri yüksektir.

3.3.1.1 CIE Kolormatik Diyagram

Uluslararası aydınlatma komisyonunun oluşturduğu bu diyagram insan gözünün görebildiği ışık renklerinin dağılımını gösteren bir grafikdir. Grafikte kırmızı, yeşil ve mor doymuş renkler, eğimli taraf boyunca aradaki renkler ile üçgenin köşelerine

yerleştirilmiştir ve altta magenta rengi bulunmaktadır. İçeriye doğru renkler açılmakta ve aynı zamanda seyrelmektedir. Üçgenin merkezi bütün renklerin görüldüğü beyazdır. Işığın renksel değerleri x ve y koordinatlarındaki dik açı boyunca sayısal olarak çizilmiştir. Böylece her ışık rengi kendisine ait olan x ve y değerleri ile kolormatik diyagram ya da renk noktası olarak tanımlanabilmektedir[27].



Şekil 3.7 Kolormatik Diyagram Örnek Gösterimi[27]

3.4 Fotometrik Büyüklüklerin Ölçülmesi

Armatür ve ışık kaynakları ile ilgili teknik verileri elde edebilmek için laboratuvar ortamında ihtiyaca uygun olarak farklı tip ölçüm cihazları kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında kullanılan laboratuvar ortamında test uzaklığı (fotosel ile aydınlatma aygıtı arasındaki mesafe) 13,44 metredir. Mevcut aydınlatma aygıtı herhangi bir ışıksal farklılık yaratmaması açısından güç kaynağı ile beslenmektedir. Ortam sıcaklığı $25,3 \pm 1$ C°'de ve nem oranı ise %65 olarak sabit tutulmuştur. Ölçümler C düzleminde 0-360 derece arasında 5 derece aralıklarla, gama düzleminde ise 0-90 derece arasında 1 derece aralıklarla yapılmıştır. Aydınlatma aygıtının merkezinin fotoselin merkezi ile aynı odak noktasında olması gerektiği için bu kontrol armatürün merkezinin ayarlanmasını

sağlayan lazermetre ile yapılmıştır. Kaçak ışıkların ortama hiçbir şekilde girmemesi sağlanıp ortamın yüksek yutma faktörüne sahip olması siyah özel fon perdeler ile sağlanmıştır.

3.4.1 Gonyofotometre

Gonyofotometrik ölçmeler, armatürün ya da ışık kaynağının fotometrik özelliklerinin belirlendiği ölçümlerdir. Armatürün ışık dağılım eğrilerinin oluşturulması, açisal olarak ışık akısının ölçülmesi, aydınlık şiddeti, armatür verimi ve kamaşma ile ilgili veriler gonyofotometrik ölçümler sayesinde elde edilir.

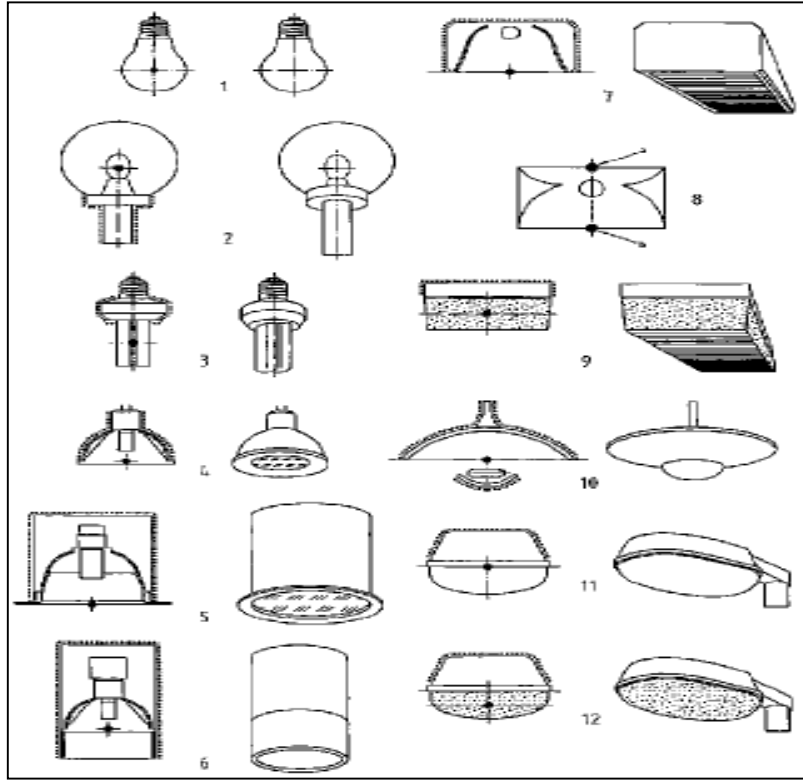
Gonyofotometrik ölçmeler sonucunda elde edilen veriler, söz konusu ışıklığın kullanıldığı yerlerde aydınlık düzeyi hesaplarının dakik bir biçimde yapılmasını sağlar. Gene bu ölçmeler sonucunda elde edilebilen EULUMDAT formatındaki dosyalar da, aydınlık düzeyi hesapları yapmak üzere tasarlanmış programlarda kullanılabilir[20].

Üniversitemizin laboratuvarında kurulan gonyofotometre Everfine marka GO-2000 (B-β PLUS C-γ) modelidir. Bu tip gonyofotometreler en yaygın kullanılan türdür, ışık kaynağının döndürülmesi esasına dayanır. Temel olarak ışık kaynağının takıldığı döner hareketlerin yapıldığı kısım, belirli uzaklığa yerleştirilen fotometrik dedektör, armatür bağlantılarının yapıldığı güç kaynağı panosu ve verilerin aktarıldığı bilgisayar olmak üzere dört kısımdan oluşur. Ölçüm yapılacak alanda ölçme duyarlılığı açısından armatürden çıkan ışınların farklı cisimlere çarpıp yansımaması gerekir. Bu sebeple laboratuvarında bu etkilerden uzak farklı ışıkların girmediği karanlık bir ortam oluşturulmuştur. Şekil 3.8' de laboratuvardaki gonyofotometre sisteminin genel görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.8 Gonyofotometre çalışma sistemi

Test edilecek armatür dikey ve yatay olarak döndürülebilen mekanizmada sabitlenir. Burada dikkat edilecek husus armatürün cihazın merkezine yerleştirilmesi ve mekanik olarak sabitlemenin uygun yapılmasıdır. Armatürün merkeze yerleşim işlemi için de duvara monte edilen lazer sistem kullanılır. Kullanılacak armatürün tipine göre merkezleme yapılacak nokta farklılık göstermektedir.Şekil 3.9' de farklı ışık kaynakları ve armatür tiplerinin fotometrik merkezleri gösterilmiştir.Uygulamamızda kullandığımız yol aydınlatma armatür tipleri 11 numara ile gösterilen tipe uygun olup merkezler bu şekilde ayarlanmıştır.



Şekil 3.9 Lamba ve armatürlerin fotometrik merkezleri[28]

Sabitlenen armatür kablo bağlantıları yapıldıktan sonra armatüre enerji verilir ve ışık kaynağı kararlı hale gelene kadar beklenir. Bu süre ise güç kaynağında armatüre ait çekilen akım ve güç değerinin yaklaşık olarak sabit kalması ile belirlenir. Daha sonra bilgisayar üzerinden gonyofotometrinin yazılımı olan GOSOFT programı açılır ve ışık kaynağı ile ilgili bilgiler programa girilir. Programa ışık kaynağı ile ilgili veriler, ilk olarak Ulbright küresinde ölçülmüştür ve burada elde edilen toplam ışık akısı, ışık kaynağının çektiği güç ve gerilim değeri sisteme girilir. Burası armatürün verimini belirleyebilmek için önemli bir kısmı oluşturur. Işık kaynağından çıplak halde elde edilen ışık akısı değeri ve güç değerine bağlı olarak etkinlik değeri ve armatür içerisine girdikten sonraki etkinlik değeri armatürün veriminin hesaplanılmasında kullanılır.

Test Information

Test Information

Manufacturer: YTU

Operators: YTU Temperature: 25.3 deg Comm.

Test Date: 26 HAZIRAN 2015 Humidity: 65.0 %

Distance(m): 13.44 Type: Street

Remarks:

Voltage(V): 220.028 Current(A): 1.62365 >>

Power(W): 277.397 Power factor: 0.776483

Compact: LED Luminaire (LOR = 100%)

Luminaire

Name: YTU

Type: HPS

Spec: 250w

Dimension:

Weight:

Serial No.: 1

Shielding Angle:

Illuminant Surface:

Area(m2): 0.1

Lamp

Select Lamp...

Model: 1

Nominal Power: 268.9 W

Rated Voltage: 220.3 V

Nominal Flux: 31677 lm

Test Flux: 31677 lm

Lamps Inside: 1

Test Voltage: 230 V

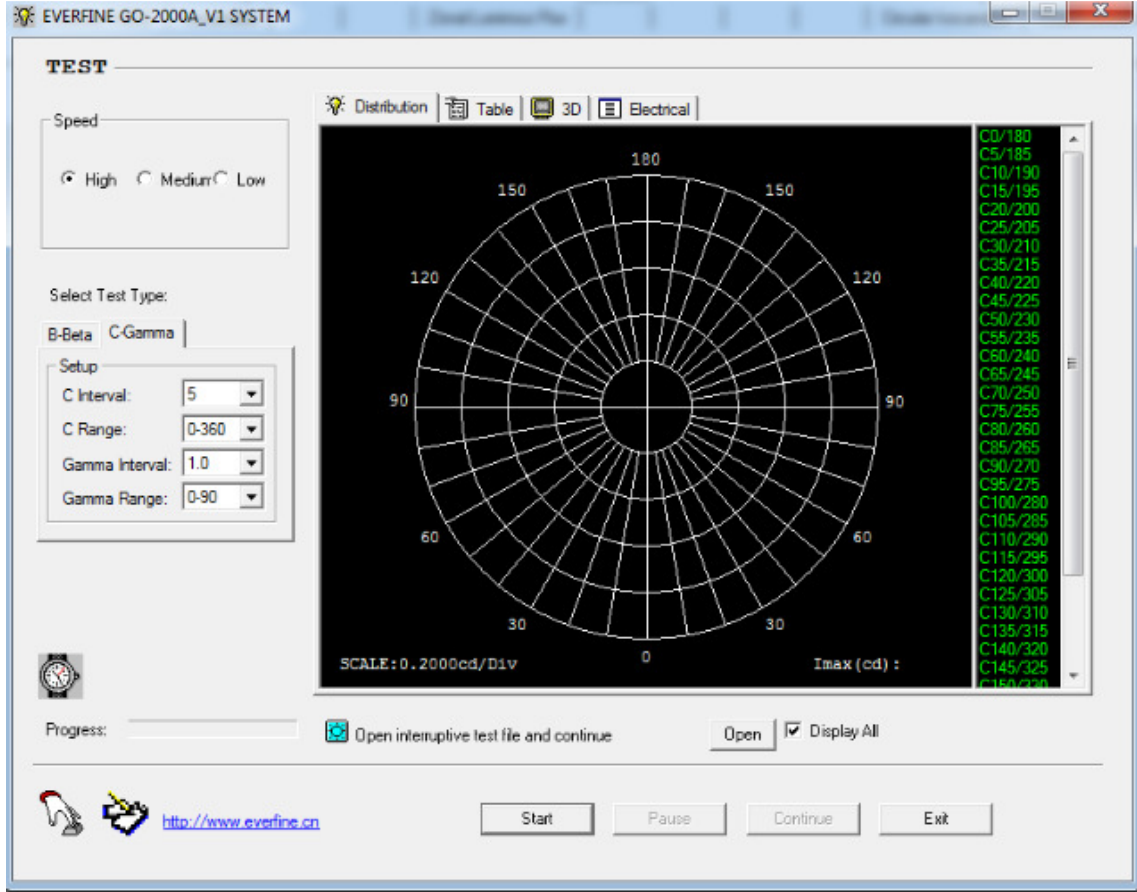
Color Constant: HV sodium lamp

Legend: Select...

IESNA... OK Cancel

Şekil 3.10 Gosoft Yazılımında Işık Kaynağı ile Armatür Bilgilerinin Girilmesi

Bütün bu işlemlerden sonra tezgah yatayda 90 derece konumuna getirilir. Ölçüm yapmak istediğimiz açisal aralıklar C ve Y açisal aralıkları ve ölçüm yapılacak değerler girilir. C değeri 0-360 derece arasındaki her 5 derecelik düzlemde, Y açısı 1 derece aralıklar ile 0-90 derece arasında ölçüm alınması için ayarlanmıştır.



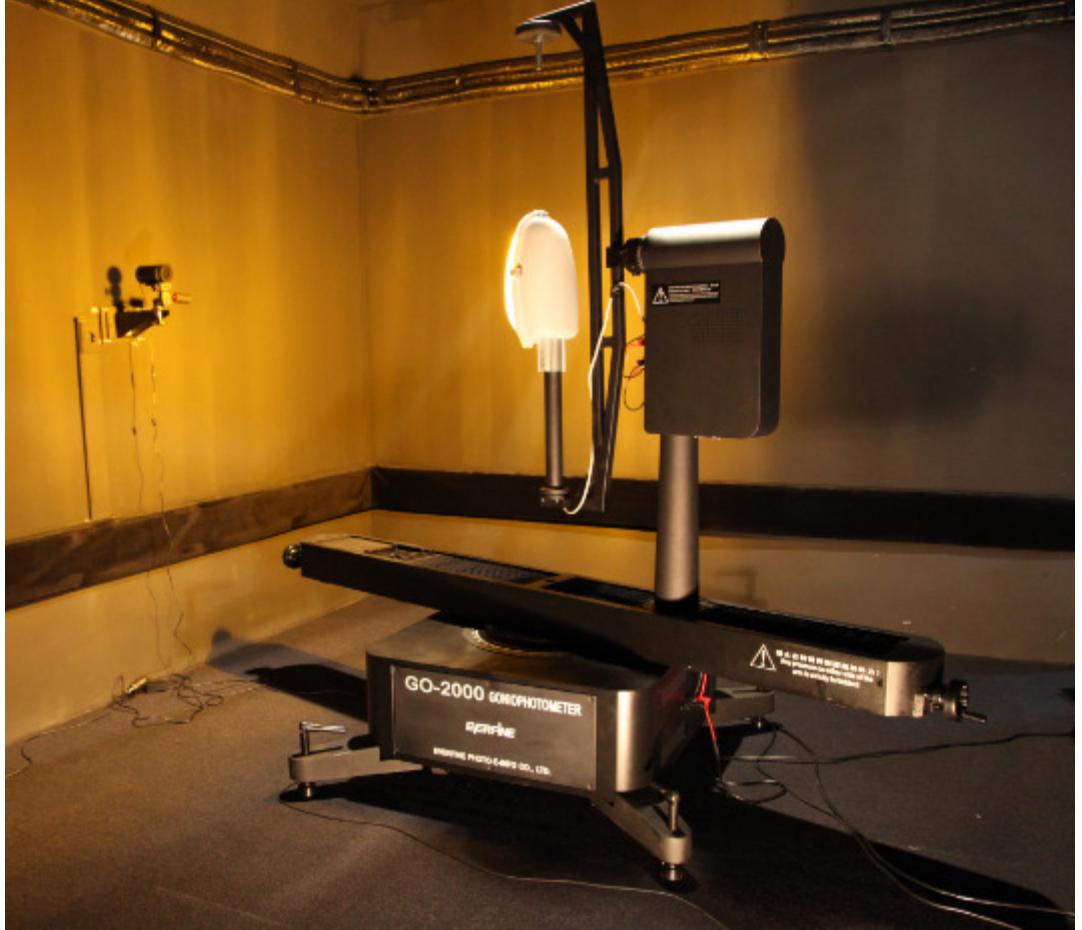
Şekil 3.11 Gosoft Yazılımında Ölçüm Açısal aralıklarının Girilmesi

Bu işlemler yapıldıktan sonra start tuşun basarak ölçüm başlatılır. Fotometrik sensör açısal olarak ayarlanan her derece için ışık akısı değerini ölçer ve kayıt altına alır. İşlem bitimi sonucunda armatürün ışıksal dağılımı ve istenen ışık şiddeti değerleri tablo halinde bilgisayar ortamında elde edilir. Şekil 3.12'de örnek bir test edilen yol aydınlatma armatürü yer almaktadır. İstenildiği takdirde açısal aralıkları bilgisayar üzerinden ayarlanılarak daha yüksek aralıklarla daha kısa ölçümler de yapılabilir.

Test sonucunda bilgisayar üzerinde aşağıdaki değerler ve diyagramlar elde edilir.

- Işık yeğİnliği uzaysal dağılımı($I(C,Y)$)
- Işık yeğİnliği 3D diyagramı
- Toplam ışık akısı
- Işık demeti açısı
- Armatür montaj yüksekliği ve armatürler arası uzaklığın maksimum oranı(S/MH)

- Yol aydınlatma armatürünün CIE ve IES'e göre sınıflandırılması
- Eşyeğinlik diyagramı(İzokandela diyagramı)
- Kullanma çarpanı(CU)
- UGR(birleşik kamaşma oranı)

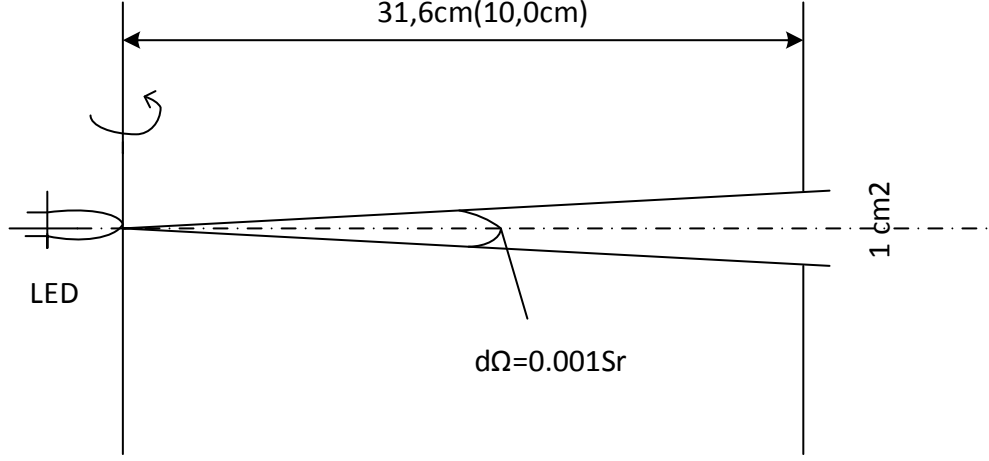


Şekil 3.12 Yol aydınlatması armatürü gonyofotometrik ölçümü

3.4.1.1 Led Gonyofotometre

Gonyofotometre cihazları ölçümü yapılacak aydınlatma aygıtlarına göre tasarım ve ölçüm açısından farklılıklar göstermektedir. Yukarıda çalışma prensibini aktardığımız gonyofotometre türü konvansiyonel yol aydınlatması armatürleri için en uygun tiptir ve uzak alan ölçüm sistemidir. Teknolojinin gelişimi ile kullanımı led sistemlerinin kullanımı bu sistemler için de kullanımına uygun ölçüm cihazlarına gereksinim duyulmuştur. Bu amaçla LED ışık kaynaklarının fotometrik verilerini elde etmek amacıyla özel bir Led Gonyofotometre üretilmiştir ve yakın alan ölçüm tipindedir.

Bu tip gonyofotometrede ölçüm kapalı bir cihazın içinde kurulan düzenek ile gerçekleşmektedir. Test sırasında led ışık kaynağı yatay(C düzlemi) ve dikey(gama düzlemi) etrafında dönerken, fotometrik dedektör sabit kalmaktadır.



Şekil 3.12 Led ışık kaynağının ışık akısı ölçümü için CIE'nin oluşturduğu Sistematik Diyagramı[29]

Şekil 3.5'de Led ışık kaynağının fotometrik verilerinin hesaplanması ile ilgili olarak ölçüm prensibi gösterilmiştir. Led kaynağı için aradaki mesafe şekilde gösterildiği gibidir. Led ışık kaynaklarının fotometrik verilerini elde etmede uzaklığa bağlı olarak değişik sonuçlar ortaya çıkabilmektedir, farklı üretici firmaların benzer ürünlerinde doğru karşılaştırılabilmenin yapılabilmesi için uygun ve güvenilir ölçüme ihtiyaç duyulmuştur. Bu sebeple CIE, LED kaynakların ölçümü ile ilgili iki temel ölçüm geometrisi oluşturmuş, bu sayede hem LED kullanıcıları hem de üreticileri doğru ve pratik bir ölçüm sonucuna ulaşabilmektedirler. Ortalama LED ışık akı yoğunluğu olarak adlandırılan geometride dedektör ve ışık kaynağı arasındaki mesafe 316mm ve 100mm olarak iki farklı durum için tasarlanmıştır. İki durum için de led kaynağın ışık yoğunluğu temel aydınlatma prensibine dayalı olarak uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak aydınlık düzeyi formülü kullanılır[29]. Şekil 3.12 'de aydınlık şiddeti aşağıdaki formülle verilmiştir.

$$E = \frac{I \cdot \cos \theta}{r^2} \quad (3.3)$$

Burada

E aydınlık şiddeti

I ışık şiddeti,

r dedektör ile ışık kaynağı arasındaki mesafe

θ ışık kaynağının merkezi ile yüzeyin normali arasındaki açı

Buradaki ışık şiddeti sisteminde θ açısı daima sıfırdır ve bu durumda $\cos \theta$ değeri 1' e eşit olur. Bu durumda denklem;

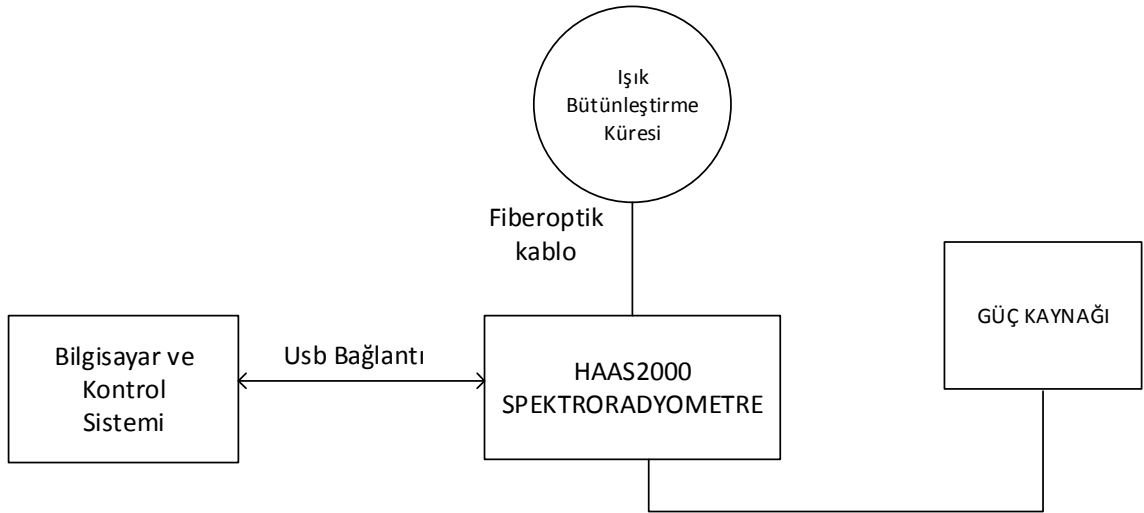
$$E = \frac{I}{r^2} \text{ ve } I_{\text{led}} = E * r^2 \quad (3.4)$$

Böylelikle test sonucu ile elde edilen aydınlık şiddeti değeri ve aradaki uzaklık formülde yerine konarak ışık şiddeti değeri hesaplanır.

3.4.2 Işık Bütünleştirme Küresi(Ulbright Küresi) ve Spektrometre

Işık kaynağının toplam ışık akısını, ışık spektrumlarını, renk sıcaklığını, renksel geriverimini ölçmede kullanılan sistemdir. İçi boş küre şeklindeki yapısı ile iç kısmı tamamen beyaz özel bir tür yansıtma oranı çok yüksek bir boya ile kaplanmıştır. Kürenin merkezinde ışık kaynağının monte edileceği kısım mevcuttur. Merkezde bulunan ışık kaynağından çıkan ışınlar kürenin içindeki tüm yüzeyden yansımaktadır.Küre ile spektrometre arasındaki bağlantı fiber optik kablo ile yapılmaktadır, buradan elde edilen veriler panoya aktarılmaktadır.

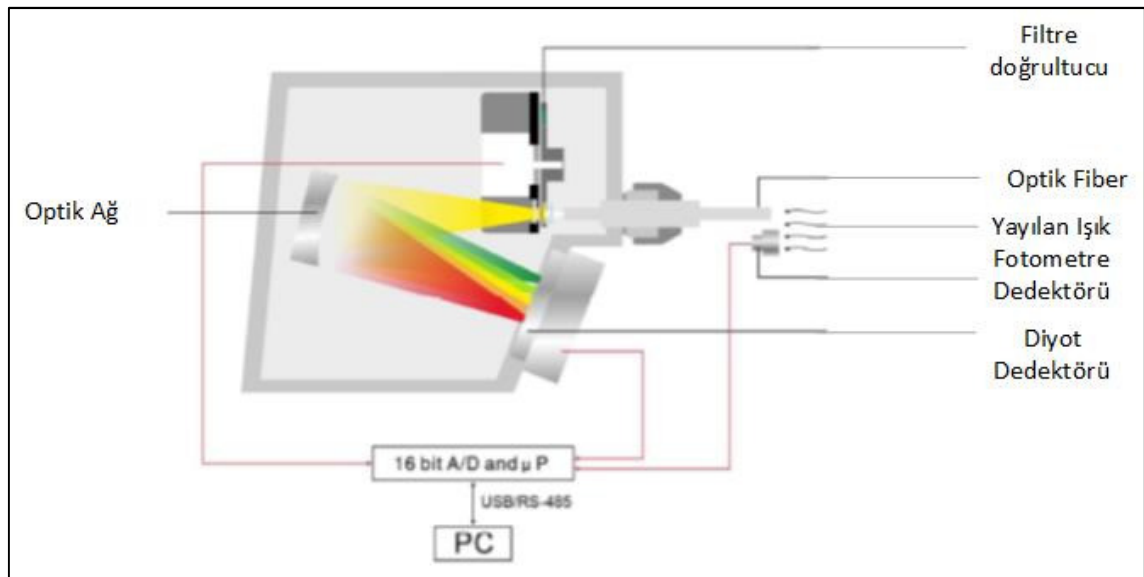
Üniversitemizin laboratuvarında çapları 2m, 1m ve 30cm çapında olmak üzere üç farklı boyutta küre bulunmaktadır. 1 ve 2 metre çaplarındaki küreler farklı tipte ve güçte ışık kaynağının fotometrik ve radyometrik spektrumlarını ölçebilmektedir. 30cm çaplı küre ise özel olarak Led ışık kaynaklarını ölçmek için tasarlanmıştır. Ölçüm sisteminin çalışma prensibi Şekil'de gösterilmiştir.



Şekil 3.13 Işık Bütünleştirme Küresi Çalışma Şeması

Bu sistemle birlikte ölçüm sonucunda aşağıdaki veri ve tabloları elde edebiliriz.

- Karşılaştırmalı spektral güç dağılım diyagramı $P(\lambda)$
- CIE Kolormatik koordinat sistemi $(x,y) \sim (u,v)$
- Renk Sıcaklık ilişkisi (T_c)
- Renksel Geriverim : R_a
- Max.dalga boyu ve yarım tepe bant aralığı, renk saflığı, baskın dalga boyu
- Kırmızı oranı
- Işık akısı, radyal akı
- Aydınlatma şiddeti
- Işık şiddeti



Şekil 3.14 Spektrometre Optik Çalışma Şeması



Şekil 3.15 Ulbright Küresi

Şekil 3.15' de laboratuvarda kurulu 2 metre çapındaki küre ve diğer sistem ekipmanları gösterilmektedir. Cihaz standart olarak 220V gerilim ile çalışan lambaların ölçümünü yapmaktadır. Balast ve ignitörle çalışan deşarj lambalarının ölçümü için ise dışarıda hazırlanan bir düzencekle güç kaynağı ile lamba arasında balast ve ignitör bağlantısı ile yapılmaktadır.

3.4.3 Yansıtma ve Geçirgenlik Ölçüm Cihazı

Bir cismin yansıtma faktörü cisimden yansıyan ışık akısının cisme gelen ışık akısına oranlanması ile elde edilir. Geçirme faktörü ise bir cisimden geçen ışık akısının cisme gelen ışık akısına oranı olarak tanımlanır.

Yol aydınlatma aygıtlarında bu faktörler armatürde kullanılan plastik veya farklı tür malzemelerin geçirme ve yansıma özelliklerinin değerlendirilmesinde ihtiyaç duyulur.

Üniversitemizin laboratuvarında bu ölçümler Everfine marka TR80 model beir cihaz ile yapılmaktadır. Cihazın çalışma mantığı basit şekilde cihazın içinde bulunan referans ışık kaynağına gerilim verilerek ölçülecek malzemenin lambanın önüne konulması ile meydana gelen ışık akısının yansıyan ve cisme gelen ışık akıları olarak oranlanması ile hesap edilir.

BÖLÜM 4

UYGULAMA ÇALIŞMASI

Bu tez çalışmasında Türkiye'de yol aydınlatma armatürü üretimi yapan firmalardan farklı yol tiplerine ait armatür numuneleri alınmış olup, bu aygıtların laboratuvar ortamında fotometrik, radyometrik ve elektriksel özellikleri ölçülmüş ve kayıt altına alınarak incelenmiştir. Uluslararası Aydınlatma Komisyonu CIE'in yayımladığı öneriler, Türk Standartları Enstitüsü'nün Standartları, Türkiye Elektrik Dağıtım Şirketi'nin oluşturduğu teknik şartnamelere göre istenen özellikleri sağlayıp sağlamadıkları ortaya konulmuştur.

Bu çalışmada armatürlerin yol üzerinde sağladıkları performansları görebilmek için DIALUX adlı aydınlatma programı kullanılmıştır. Ölçümlerden alınan veriler programa aktararak örnek yol şekillerinde aydınlatma kriterlerinin (ortalama parlaklık, ortalama düzgünlük, boyuna düzgünlük, kamaşma, çevreleme oranı) meydana getirdiği değerler elde edilmiştir.

Üretici firmalardan temin edilen numune armatür tipleri sodyum buharlı yüksek basınçlı, metal halide ve LED olmak üzere üç çeşittir. Deşarj lambalı armatürler 70, 150W, 250W ve 400W güç değerindedir. LED armatürler ise 80W ile 160W arasında farklı güçlerde bulunmaktadır. Armatürlerin performanslarını kıyaslayabilmek için farklı güçlerde standart ışık kaynağı kullanılmıştır. Her armatür için etkinliklerinin hesaplanmasında balast kayıpları dahil edilmiştir.

Ölçüm işlemlerinde öncelikle armatürlerde kullanılacak olan ışık kaynakları her armatür için ayrı olarak kendi balast ve ignitör sistemi kullanılarak Ulbright küresinde ışık akısı ve güç değerlerini elde etmek için ölçülmüştür. Buradan elde edilen veriler daha sonra

Gonyofotometre cihazında bilgisayar ortamında girilmiş ve armatürün ışık kaynağı ile birlikte oluşturdukları fotometrik veriler elde edilmiştir. Bu sayede ışık kaynağının çıplak haldeki ve armatür takılı haldeki etkinlikleri incelenmiş, armatürün verimliliği ortaya konmuştur. LED armatürlerde ise ayrıca bir ışık kaynağı olmadığı ve armatür sistemi bir bütün olduğu için sadece gonyofotometre cihazında ölçüm yapılmıştır.

4.1 Ölçümlerde Kullanılan Işık Kaynakları ve Özellikleri

Ölçümde kullanılan ışık kaynakları toplam 7 adettir. 70W sodyum buharlı lamba, 150W Metal halide ve sodyum buharlı yüksek basınçlı lamba, 250W metal halide ve sodyum buharlı yüksek basınçlı lamba, 400W metal halide ve sodyum buharlı yüksek basınçlı lamba tiplerinden oluşmaktadır. Bütün lambalar laboratuvar ortamında ilk ölçümden önce 100 saat yaşlandırılmıştır.

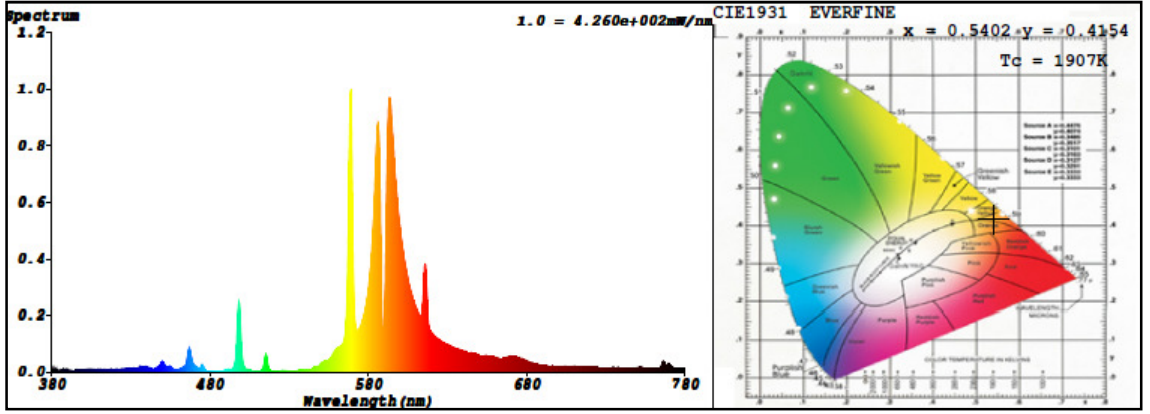
Ulbricht küresinde ölçümü yapılan lambalardan elde edilen veriler Tablo 4.1 'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre aynı türdeki lambaların renk sıcaklıkları, renksel geriverimleri ve kolormatik diyagramdaki koordinatları birbirine yakındır. Lambaların renksel tayfları ve kolormatik diyagramları da grafiksel halde gösterilmiştir. Literatürde de belirtildiği gibi yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalardan düşük renksel geriverimi, metal halojen lambalardan ise yüksek renksel geriverim elde edilmiştir. [30]Yalnız tabloda normalden farklı değerde görünen 150W metal halide lambanın düşük renksel geriverimi kullanılan lambanın renk olarak yeşil ağırlıklı renkte olmasından kaynaklanmaktadır ve renksel tayfının bulunduğu grafikte diğer metal halidelerden farklı olduğu görülmektedir.

Lambalarda kullanılan balastların değişimine göre şebekeden çekilen güçler ciddi oranda farklılık göstermektedir. Armatür kullanırken enerji verimliliği açısından dikkat edilmesi gereken önemli hususlardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır.

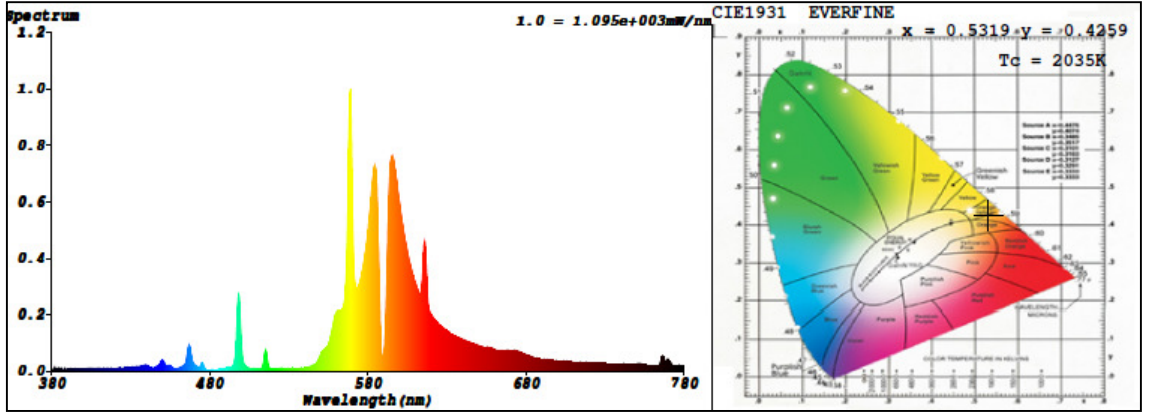
Çizelge 4.1 Ulbright Küresinde Ölçümü Yapılan Lambalardan Elde Edilen Veriler

Lamba Tipi	Işık Akısı(lm)	Çekilen Güç(W)*	Etkinlik(lm/W)*	Renk Sıcaklığı(K)	CRI
70W YBSB Lamba	5481,7	78,21	70,09	1907	22,4
150W YBSB Lamba	16440	166,2	98,89	2035	28,3
150W Metal Halide Lamba	12375	164,4	75,25	6979	33
250W YBSB Lamba	31677	268,9	117,79	2083	29,6
250W Metal Halide Lamba	24611	307,3	80,05	4127	65,1
400W YSBY Lamba	44381	397,8	111,56	2033	24
400W Metal Halide Lamba	33683	440,8	76,41	5374	59,7

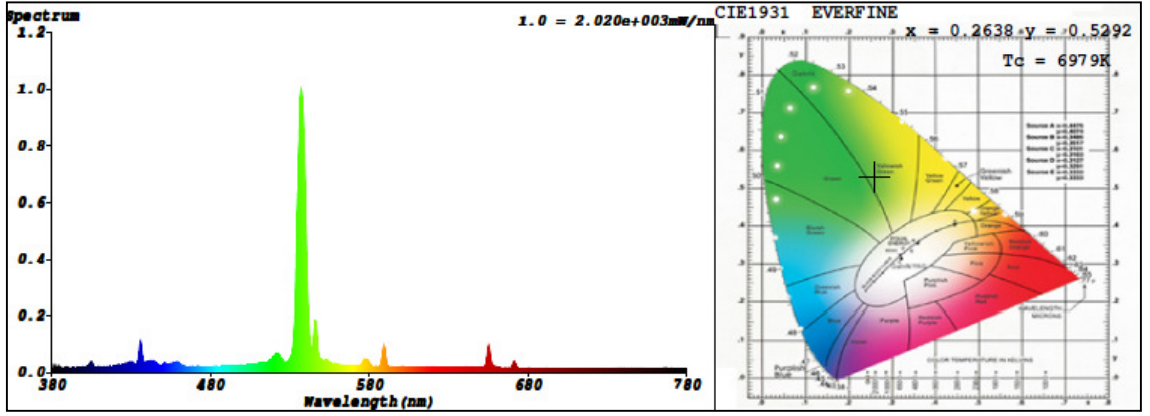
*Balast kaybı dahil



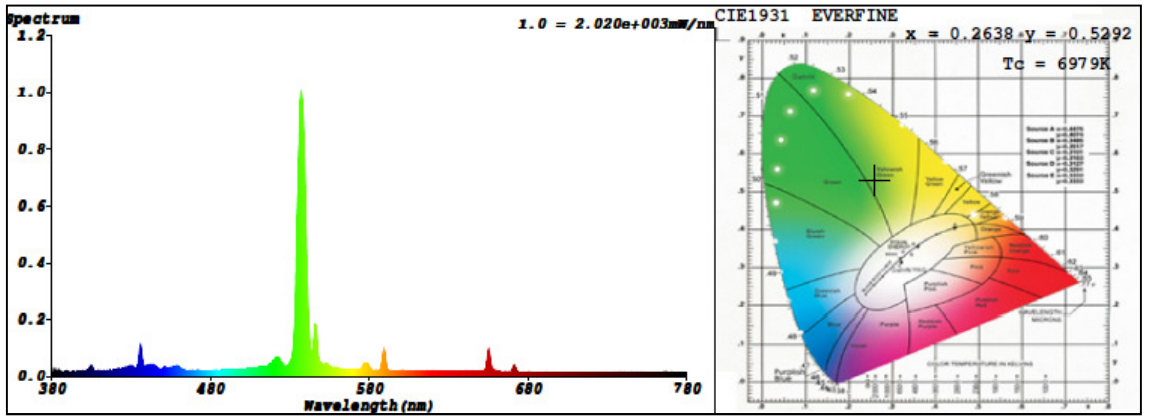
Şekil 4.1 70W Sodyum Buharlı Lambanın Spektral Dağılımı ve Kolormatik Diyagramı



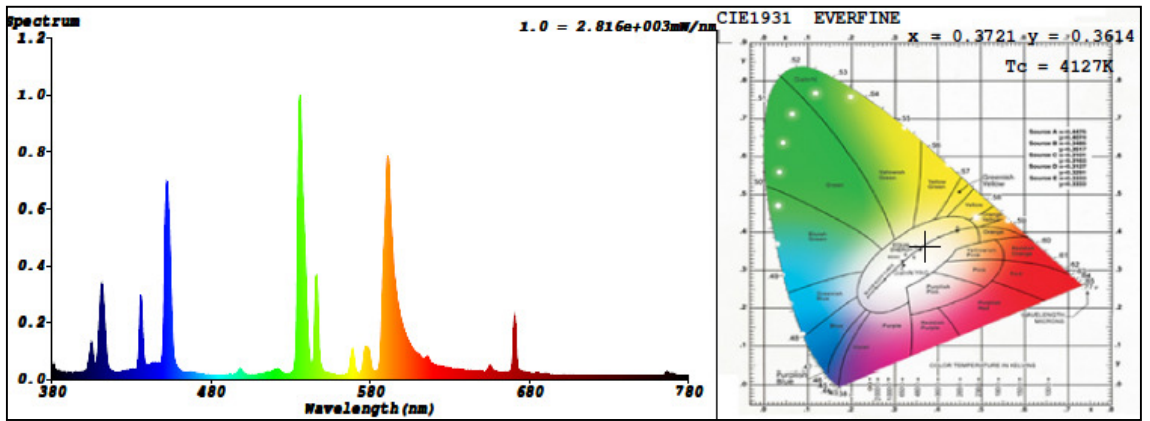
Şekil 4.2 150W Sodyum Buharlı Lambanın Spektral Dağılımı ve Kolormatik Diyagramı



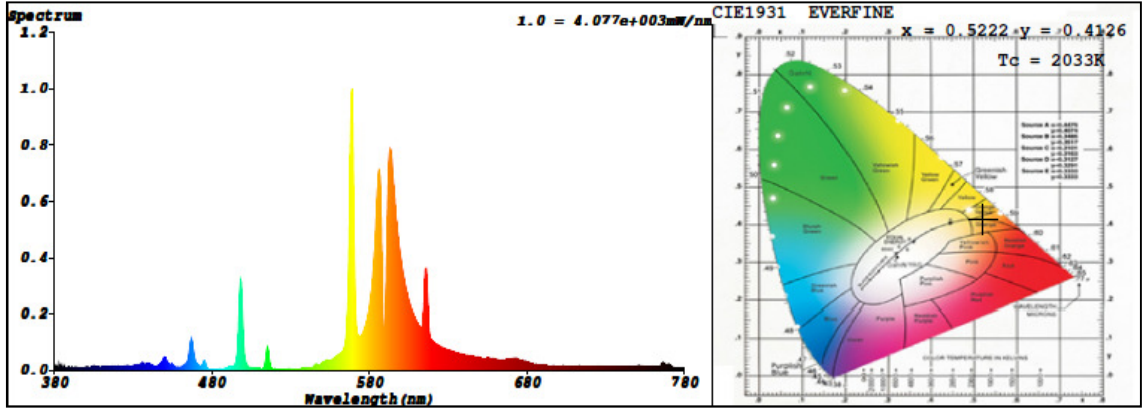
Şekil 4.3 150W Metal Halojen Lambanın Spektral Dağılımı ve Kolormatik Diyagramı



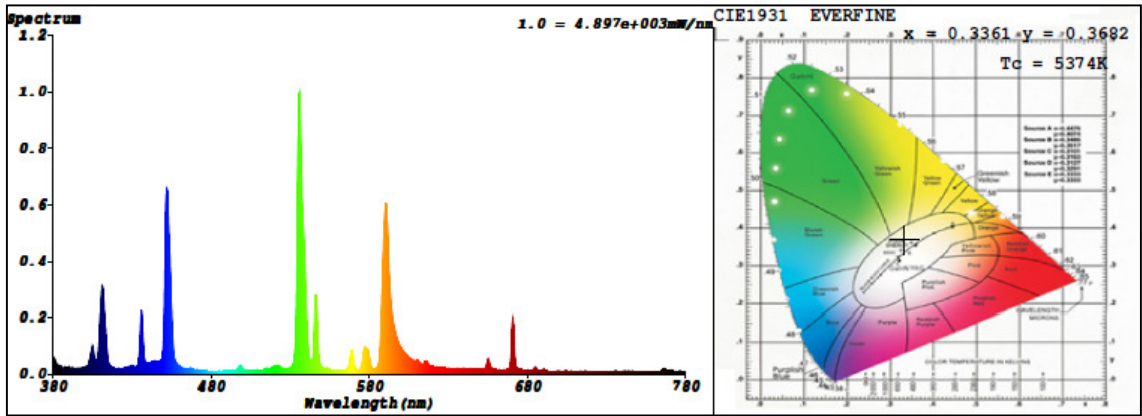
Şekil 4.4 250W Sodyum Buharlı Lambanın Spektral Dağılımı ve Kolormatik Diyagramı



Şekil 4.5 250W Metal Halojen Lambanın Spektral Dağılımı ve Kolormatik Diyagramı



Şekil 4.6 400W Sodyum Buharlı Lambanın Spektral Dağılımı ve Kolormatik Diyagramı



Şekil 4.7 400W Metal Halojen Lambanın Spektral Dağılımı ve Kolormatik Diyagramı

4.2 Türkiyede Yol Aydınlatmasında Kullanılan Farklı Tip Armatür ve Ledlerin Gonyofotometre ile Ölçüm Verileri

Bu tez çalışmasında 21 farklı tip konvansiyonel armatür ve 7 farklı tip LED armatür olmak üzere toplam 28 armatür için ölçüm yapılmıştır.

Ulbright küresinde farklı armatürler için kullanacağımız standart lambaların verilerinin elde edilmesi ile gonyofotometre ölçüm sisteminde her armatür için fotometrik özellikleri, armatür verimi ve özellikle simülasyon çalışmasında kullanılan armatürlerin ışık dağılım eğrileri ortaya çıkmıştır.

Tablo 4.2'de gonyofotometre sisteminde ölçümü yapılan armatürün sayısal verileri gösterilmiştir. Ayrıca ışık dağılım eğrileri ve maksimum ışık akısının geçtiği eğriler ayrıca de görsel olarak verilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre armatürün verimi çıplak halde lambanın sahip olduğu etkinlik faktörü ile armatür içine girdikten sonra sahip olduğu etkinlik faktörü oranlanarak hesaplanmıştır. Burada dikkat edilecek husus lambanın etkinlik faktörü kürede ölçülürken kullanılacağı armatürün balast ve ignitör sistemini kullanılması gereğidir. Farklı balast kullanımında lambadan çekilen güçte balast kayıpları değişeceğinden elde edilen ışık akısı da farklı olacaktır.

$$\text{Armatür Verimi \%} = \frac{\text{Lambanın Etkinlik Faktörü} \left(\frac{\text{lm}}{\text{W}}\right)}{\text{Armatür Etkinlik Faktörü} \left(\frac{\text{lm}}{\text{W}}\right)} \times 100 \quad (4.1)$$

Türkiye Elektrik Dağıtım Şirketinin Yol Aydınlatması ile ilgili oluşturduğu şartnamesinde deşarjlı lambalı için armatür verimi asgari %75 olarak verilmiştir[12]. Ölçüm sonuçlarından elde ettiğimiz verim değerleri ise %72,2 ile %89,9 arasında değişmektedir. Genel olarak bir değerlendirme yapacak olursak mevcut armatürlerin %81 lik kısmı verilen standarta uymaktadır.

Işık dağılım eğrilerinden elde edilen sonuçları inceleyecek olursak armatürün farklı düzlemlerde oluşturduğu ışık akısına göre sınıflandırdığımız ekranlı, ekransız ve yarı ekranlı türlerinden TEDAŞ şartnamesinde yarı ekranlı armatür tipinin önerildiğini konu anlatım kısmında belirtmişti. Buradaki verilere göre armatürlerin sadece %50'lik kısmı yarı ekranlı olarak ölçülmüştür.

Gonyofotometre sisteminde ölçülen armatürlerin verileri simülasyon programında kullanılmak üzere ELUMDAT formatında kayıt edilmiştir ve DIALUX programına aktarılmıştır.

Çizelge 4.2 Yol Aydınlatmasında Kullanılan Armatürlerin Fotometrik Verileri

	ARMATÜR İSMİ	Nominal Güç(W)*	Güç Faktörü	Lamba Işık Akısı(lm)	Lambanın Etkinlik Faktörü	Armatür Etkinlik (lm/W)	Maksimum Işık Şiddeti(cd/klm)	Armatür Verimi (%)	Imax(C,°)	Armatür Tipi
1	70W A1 MARKA YBSB	78,21	0,89	5481,7	70,09	58,12	488,4	83,5	35;39	Yarı ekranlı
2	150W A1 MARKA YBSB	166,2	0,94	16440	98,89	78,84	370,3	79,6	5;24	Ekranlı
3	150W A1 MARKA MH	164,4	0,94	12375	75,25	58,44	481,4	77,2	180;58	Ekranlı
4	250W A1 MARKA YBSB	278,6	0,77	31677	117,79	94,14	448,7	82,8	15;31	Ekranlı
5	250W A1 MARKA MH	307,4	0,64	24611	80,05	70,81	508,6	85,2	155;25	Yarı ekranlı
6	400W A1 MARKA YBSB	397,8	0,96	44381	111,56	95,76	445,8	89,6	10;20	Yarı ekranlı
7	400W A1 MARKA MH	440,8	0,94	33638	76,41	66,17	471,6	85,2	0;53	Yarı ekranlı
8	80W A1 MARKA LED	80	0,98	-	-	93,16	596,1	-	180;63	Ekranlı
9	150W B1 MARKA YSBS	174,2	0,95	17865	102,55	79,04	311,3	77,4	320;18	Ekransız
10	150W B1 MARKA MH	170,3	0,94	12624	74,13	55,35	595,6	74,4	185;67	Ekransız
11	250W B1 MARKA YSBS	257,4	0,95	29027	113,48	88,07	757,4	79,2	345;48	Ekranlı
12	250W B1 MARKA MH	289,7	0,86	23050	79,57	65,32	1136	78,7	355;64	Ekranlı
13	90W B1 MARKA LED	90	0,98	-	-	74,13	614,3	-	180;32	Ekranlı
14	150W C1 MARKA YBSB	149,7	0,93	14760	98,58	84,65	395,3	85,2	145;19	Yarı ekranlı
15	150W C1 MARKA MH	148,4	0,93	11213	75,56	63,16	434	83,8	10;64	Yarı ekranlı
16	250W C1 MARKA YBSB	236,2	0,95	25746	109,03	91,79	347,2	83,6	200;14	Yarı ekranlı
17	250W C1 MARKA MH	274,8	0,84	20839	75,83	65,57	387,3	85,3	350;66	Ekransız
18	170W C1 MARKA LED	170	0,97	17783	-	93,71	594,2	-	15;61	Ekranlı
19	150W D1 MARKA YBSB	170,1	0,94	17311	101,8	74,28	497	72,2	170;58	Ekranlı
20	150W D1 MARKA MH	164,9	0,92	12665	76,82	56,85	819,3	74,4	165;57	Yarı ekranlı
21	90W E1 MARKA LED	80	0,93	-	-	108,31	395,5	-	45;49	Yarı Ekranlı
22	123W E1 MARKA LED	105	0,96	-	-	109,24	560,2	-	135;50	Yarı Ekranlı
23	153W F1 MARKA LED	152,5	0,99	-	-	122,29	596,7	-	155;67	Ekransız
24	150W G1 MARKA YBSB	159	0,95	16055	100,97	74,93	398,8	74,2	5;73	Ekransız
25	150W G1 MARKA MH	152,8	0,93	13119	85,85	63,28	1131	73,7	0;73	Ekransız
26	250W G1 MARKA YBSB	249,1	0,96	27419	110,07	99,39	584,5	90,3	165;63	Yarı
27	250W G1 MARKA MH	285,5	0,88	25322	88,69	71,72	772	80,9	170;67	Yarı
28	114W G1 MARKA LED	112,6	0,98	-	-	78,77	980,4	-	160;60	Yarı

*Balast kaybı dahil

Ölçümü yapılan armatürlerin ışık dağılım eğrileri C,Y düzlemi'nde, C0/180 ve C90/270 açısal düzlemlerindeki eğrileri EK-A'da verilmiştir. 'Average Beam Angle' olarak hesaplanan değer ise ışık dağılımının merkezinde ışık yoğunluğunun en az %50 maksimum ışık yoğunluğu olduğu iki düzlem arasındaki açı olarak ifade edilmektedir. Genellikle armatürün aydınlatma amaçlı yararlanabilecek bölgesini tanımlamaya yarar.[20]

4.3 DIALUX Programında Ölçüm Verileri Kullanılarak Farklı Yol Modellerine göre Armatürlerin Performanslarının İncelenmesi

Bu simülasyonda armatürlerin farklı yol sınıflarına göre armatürler yerleştirilmiş ve gerekli kalite büyüklüklerini sağlayıp sağlamadıkları ortaya konmuştur. Armatürlerin lamba türlerine ve marka farklılıklarına göre karşılaştırmaların yapılabilmesi için simülasyonlar 150W, 250W, 400W deşarj lambalı armatürler ile Led armatürler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

4.3.1 Dialux Programında Yol Modeli Oluşturma ve Armatür Yerleşimi İle İlgili Temel Esaslar

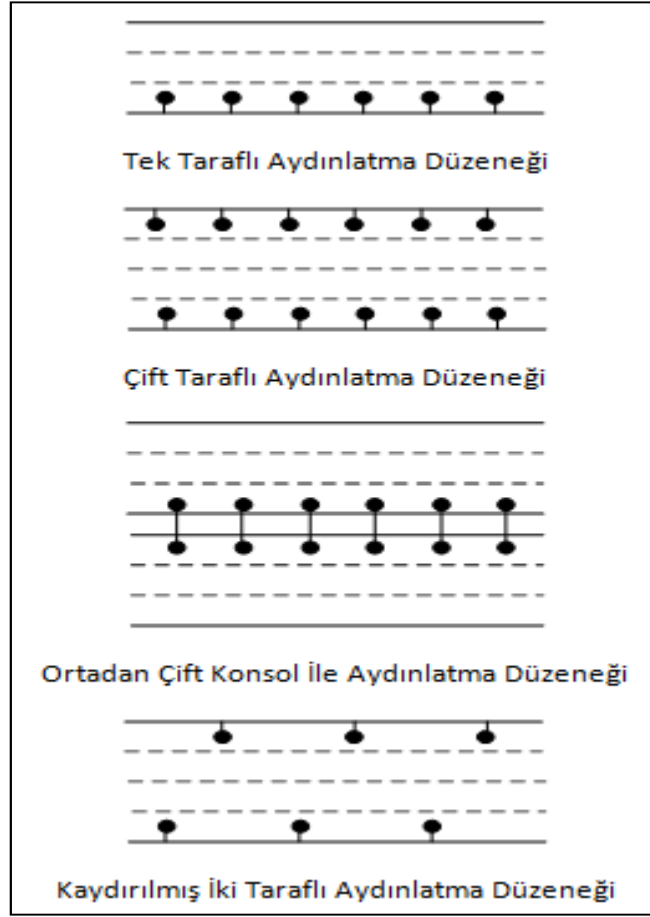
Yol aydınlatmasında örnek bir simülasyon oluşturabilmek için belirlenmesi gereken temel unsurlar bulunmaktadır. Bunlardan ilki yolun mevcut durumu yani geometrisi, ikincisi ise yerleştirilecek armatürün yola entegre edilmesi ile ilgilidir.

Yol geometrisi oluşturulurken örnek yolun şerit sayısı, şerit genişliği, refrüjler, yaya yolu, trafik yoğunluğu yolun aydınlatma tasarımını ve sınıfını belirler. Ayrıca simülasyon oluşturulurken yol geometrisi ile ilgili program üzerinde aşağıdaki özelliklerin belirtilmesi gerekmektedir.

- Şerit Sayısı, Şerit Genişliği: Yol tasarımında istenilen şekilde yola şerit eklenebilir, çıkarılabilir, değiştirilebilir ayrıca yola orta şerit, acil durum şeriti, bisiklet yolu, yaya yolu gibi birebir gerçek yol üzerindeki uygulamalar similasyonda gerçekleştirilebilir.

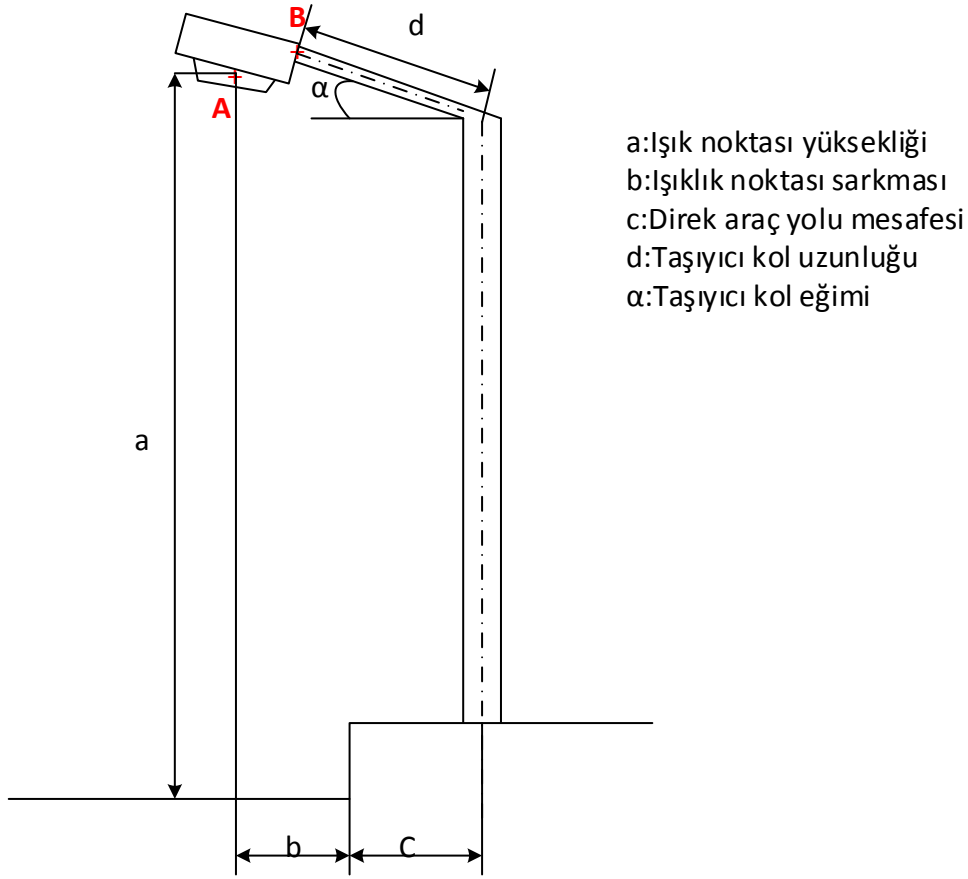
- Araç Yolu kaplaması: Asfalt yüzeyin parıltı özelliklerine göre oluşturulan sınıflardır. (Ülkemizde mevcut yolların özelliği tam olarak bilinmediğinden R3 olarak alınmaktadır)
- Aydınlatma Sınıfı: Şerit sayısına, trafik yoğunluğuna bağlı araçlar için oluşturulan yol sınıfları M1,M2,M3... şeklindedir.
- İşletme Bakım Faktörü: Armatürlerin koruma sınıfına göre bakım sıklığına ve kirlenme düzeylerine bağlı oluşturulan katsayıdır.
- Standart:Kalite parametrelerinin baz alınacağı standartlardır. Avrupa Birliği Standartlarının Yol Aydınlatması ile ilgili standardı (EN 13201) olarak seçilmiştir.

Aydınlatma tasarımının yol geometrisine uygulanması için ise belirlenmesi gereken unsurlardan ilki armatürün yerleştirme düzenidir. Aydınlatma sınıfına bağlı olarak TEDAŞ'ın hazırlamış olduğu şartnamede tezin ilk bölümünde verilen Çizelge 2.3 de bu konu ile ilgilidir. Armatür güçlerine ve aydınlatma sınıfına bağlı minimum direkler arası mesafe ve aydınlatma düzeneği tabloda verilmiştir. Yol aydınlatmasında armatürün yerleştirme düzeni tek taraflı aydınlatma düzeneği, iki taraflı karşılıklı aydınlatma düzeneği, ortadan çift konsollu aydınlatma düzeneği ve kaydırılmış iki taraflı aydınlatma düzeneği olarak dört şekilde sınıflandırılabilir.



Şekil 4.8 Farklı tiplerde Aydınlatma Düzenekleri

Armatürlerin aydınlatma sınıfına bağlı olarak yol düzenine yerleştirilmesinde direkler arası mesafe, ışık noktası yüksekliği, taşıyıcı kol eğimi, taşıyıcı kolun uzunluğu ve direk araç yolu mesafesi gibi kalite parametrelerine önemli ölçüde etki eden özellikler belirlenmelidir. Şekil 4.9' da armatürün montajı ile ilgili bu tanımlar verilmiştir.



Şekil 4.9 Armatür montaj mesafeleri ve tanımları

Yol aydınlatmasında yukarıdaki özelliklere bağlı olarak yapılacak tasarımın temel amacı maksimum direk açıklığında kilometre başına düşen armatür sayısını minimuma indirmek böylece kullanılan enerji ve armatür maliyetini düşürmektir; bununla birlikte sürücünün görüş seviyesini standartların altında bırakmamak ve kamaşma durumunun oluşmasını engellemek sürücünün yol güvenliği ve emniyetini sağlayarak optimum tasarımı yapmaktır.

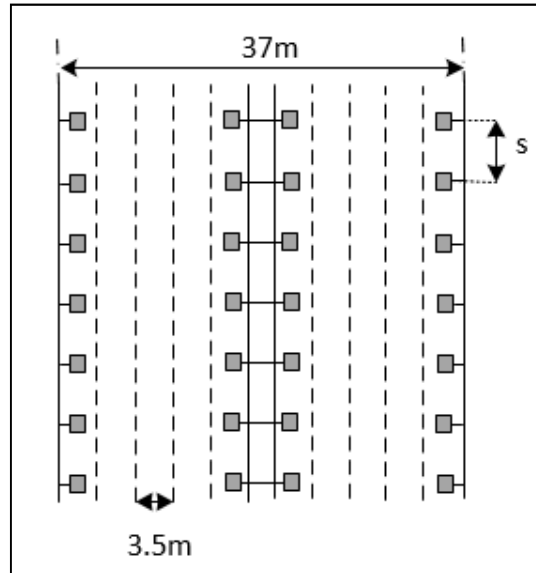
4.3.2 Farklı Yol Sınıfları İçin Oluşturulan Modeller ve Sonuçlar

Bu uygulamada amaç ölçümü yapılan armatür tiplerinin DIALUX programında kullanılarak farklı yol sınıflarına göre yol aydınlatma kriterlerini sağlayıp sağlamadıklarını incelemektir. Ölçümü yapılan armatürlerden 400W ve 250W konvansiyonel armatürler M1 sınıfı yol durumunda iki farklı yol modelinde, 150W konvansiyonel armatürler M2 ve M3 yol sınıfı için kullanılmıştır. LED armatürler ise güç tiplerine göre konvansiyonel armatürlerin sağlayabildikleri direk açıklıklarına göre

alternatif olarak kullanılmıştır. Aydınlatma aygıtlarının gonyofotometrede ölçülen ışık dağılım eğrileri EK-A 'da verilmiştir. Yol standartlarına bağlı olarak tüm modeller için yol kaplaması R3, bakım faktörü ürünlerin yüksek koruma sınıfı IP66 olması nedeniyle 0.89, aydınlatma sınıfı ise A1 olarak kabul edilmiştir[31].

4.3.3 400W YBSB ve MH Konvansiyonel Armatürler

Bu simülasyonda şehir bağlantı yolları olarak adlandırılan çevre yolları için hız limitinin 90 km/h'in üzerinde olduğu durumlar için Çizelge 2.3' de belirtilmiş M1 yol sınıfına ait 2x5 şeritli, şerit genişliği 3.5 mt olan ortadan refüj ile bölünmüş örnek yol modeli kullanılmıştır. Bu şekilde beş şeritli yol modeli çok yaygın olmayıp gelişmiş ülkelerin karayollarında bulunmaktadır. Örnek içermesi bakımından 400W armatür ile aydınlatması yapılmıştır. Ölçümlerde kullandığımız iki farklı markaya ait 400W armatür için simülasyon sonuçları aşağıda tablo halinde verilmiştir. Genel olarak 400W armatürlerde YBSB armatürler kullanılmasına rağmen, MH ışık kaynağı ile aydınlatılması durumu için elde edilen sonuçlar da tabloya verilmiştir. Yüksek güçler için MH ışık kaynağının direk açıklığı mesafesinin sınırlı olması nedeniyle avantajlı olmadığı görülmektedir. Her iki durum için de daha önce vermiş olduğumuz Çizelge 2.3' de verilen TEDAŞ şartnamesinin minimum direk açıklığı kriterlerini sağlamıştır.



Şekil 4.10 M1 yol sınıfında 400W armatürlerin örnek yol modeli

Kullanılan armatürlerin simülasyon sonuçları Çizelge 4.3'de detaylı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.3 M1 Yol Sınıfında Simülasyonu Yapılan Armatürlerin Ölçüm Sonuçları

	ARMATÜR İSMİ	Güç(W)	Işık Akısı (lm)	Etkinlik (lm/W)	s(m)	mh (m)	oh (m)	$\vartheta(^{\circ})$	Lo ≥ 2.00	Uo ≥ 0.40	Ul ≥ 0.70	Tl(%) ≤ 10	SR ≥ 0.5	W/km	Ar.sy. /km
1	400W YBSB A1 MARKA	415.3	38093	96.66	67	22	2	0	2,11	0,42	0,71	5	0,89	24918	59,7
2	400W MH A1 MARKA	434.1	29168	66.4	55	17,5	2	15	2	0,42	0,75	6	0,79	31256	72,72
3	153W LED F1 MARKA	152,5	18655	122,34	36	17	1	0	2,08	0,56	0,85	6	0,88	17080	111,11

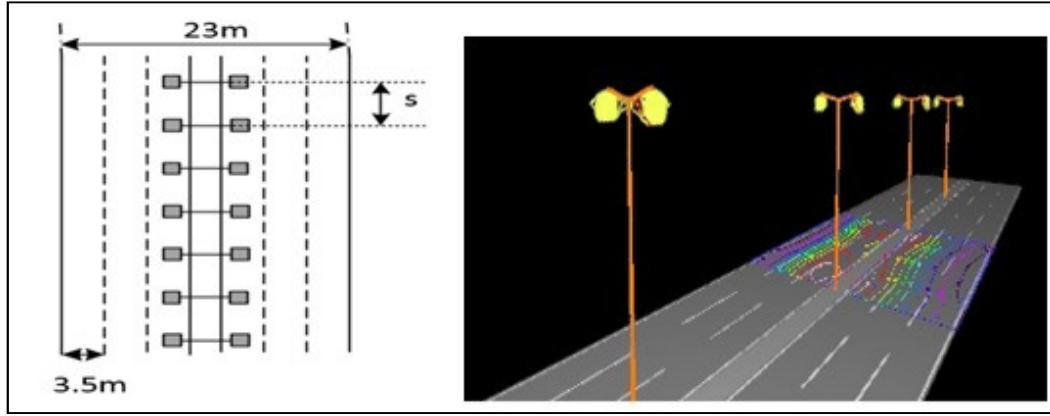
Yukarıdaki sonuçta da görüldüğü gibi mevcut LED armatürlerimizden en yüksek güçlü olanı 153W 'dır. Bu durumda bir LED ürün kullanıldığını varsayarsak eğer sadece kullanılan armatür maliyeti ve sağlanan enerji tasarrufu üzerinden bir geri dönüşüm hesabı yaptığımızda elde edilecek sonuçlar aşağıda verilmiştir. (Detaylı maliyet hesabı örneği 4.3.6 no'lu konu başlığında verilmiştir.)

Elde edilecek enerji tasarrufu yıllık 28608,7 kWh/yıl olarak hesaplanır. Bunun için elde edilecek tasarruf tutarı ise 1916,8 \$/yıl 'dır. Kullanılacak olan armatür maliyeti ise kilometre başına 111*250,00\$ olarak hesaplandığında toplam 27.750,00\$ 'dır. Geri dönüşüm oranı bu durumda 14,47 yıl olur, bu ise armatürün çalışma saati göze alındığında 52815 saat ömre denk gelir.

LED ürünlerin kullanım ömürlerini dikkate alacak olursak her ne kadar teorik olarak 50000 saat ömür verilse bile şu anda bu oran pratikte zamanla etkinliklerinin azalması sebebiyle mümkün değildir. Bu sebeple 400W YBSB armatüre alternatif olması kullanılacak armatür sayısındaki farklılığa ve geri dönüşüm oranına bakarsak avantajlı olmamaktadır. Aynı yol için kilometre başına 51 adet daha fazla LED ürün kullanılması gerektiği görülmektedir. Bu da LED maliyetlerini şuan için düşündüğümüzde M1 sınıfı 400W armatürlere alternatif olarak uygun olmadığı anlaşılmaktadır.

4.3.4 250W YBSB ve MH Armatürler ile Alternatif LED armatürler

Bu simülasyonda ise şehir içi ana güzergahlar için M1 yol sınıfına ait 2x3 şeritli ortadan refüj ile ayrılan örnek yol modeli kullanılmıştır. Ortadan çift konsollu direk kullanılarak aydınlatma tasarımı yapılmıştır. A1 aydınlatma sınıfında, yol kaplaması R3 ve bakım faktörü 0.89 olarak kabul edilmiştir. Örnek yol modeli Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11 M1 yol sınıfında 250W armatürlerin örnek yol modeli

250W değerinde 3 farklı markaya ait ürün bulunmaktadır ve her armatür için iki farklı ışık kaynağı durumunda yol şartlarında performansları incelenmiştir. Armatürlerin simülasyona eklenmesi ile elde edilen yol aydınlatma kriterlerine göre maksimum direk açıklıkları tabloda verilmiştir.

Çizelge 4.4 M1 Yol Sınıfında Simülasyonu Yapılan Armatürlerin Ölçüm Sonuçları

	ARMATÜR İSMİ	Güç(W)	Işık Akısı (lm)	Etkinlik (lm/W)	s(m)	Mh (m)	Oh (m)	$\theta(^{\circ})$	Lo ≥ 2.00	Uo ≥ 0.40	UI ≥ 0.70	TI(%) ≤ 10	SR ≥ 0.5	W/km
1	250W YBSB A1 MARKA	278.6	26271,98	94.3	36	15	1,5	5	2,04	0,4	0,79	4	0,82	15602
2	250W YBSB B1 MARKA	257,4	22573,98	87.7	32	21	1	0	2,00	0,45	0,79	2	0,86	12658
3	250W YBSB C1 MARKA	234,5	21527,1	91,8	31	17	1,5	15	2,04	0,4	0,79	7	0,86	15008
4	250W MH A1 MARKA	296.1	20786,22	70.2	29	16	2	5	2,02	0,43	0,78	4	0,74	20135
5	250W MH B1 MARKA	277,6	18099,52	65.2	27	22	1	15	2,05	0,43	0,77	4	0,94	20542
6	250W MH C1 MARKA	263,2	17581,76	66,8	26	17	2	15	2,01	0,42	0,87	7	0,84	20003
7	170W LED C1 MARKA	163,6	15345,68	93,8	26	14	1,5	0	2,01	0,45	0,7	0	0,86	12434
8	123W LED E1 MARKA	105,3	11509,29	109,3	20	8	2	5	2,01	0,4	0,73	0	0,82	10530
9	153W LED F1 MARKA	152,5	18656,85	122,34	29	10	2	0	2,04	0,48	0,84	10	0,81	10370
10	250W G1 MARKA YBSB	249,1	24758	110,07	36	16	1,5	0	2,00	0,43	0,70	4	0,86	13950
11	250W G1 MARKA MH	285,5	20476	88,69	35	16	1,5	0	2,00	0,41	0,80	7	0,83	16559

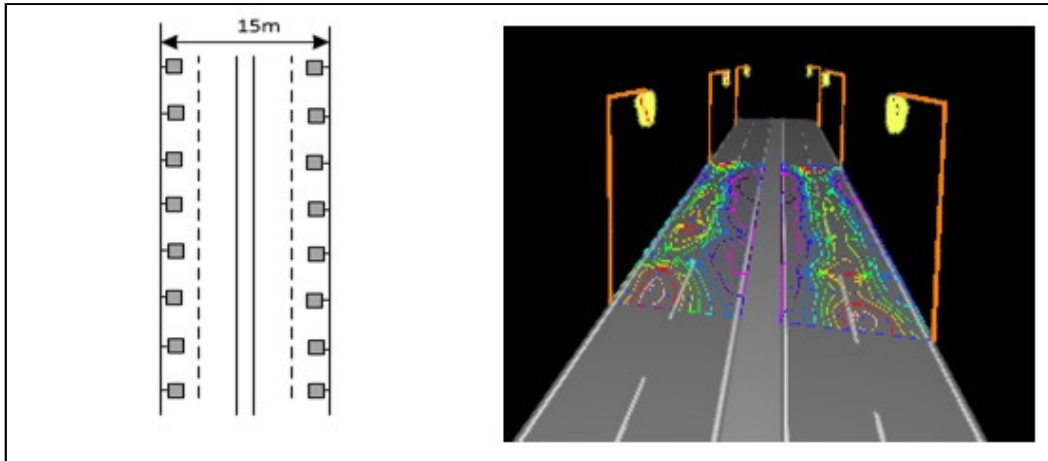
Kullanılan armatürlerden her biri için optimum direk açıklığı mesafesi belirlenmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken husus aynı direk açıklığını sağlayan farklı marka YBSB armatürlerde kullanılan enerji miktarlarının karşılaştırılmasıdır. G1 marka YBSB armatürü A1 marka YBSB armatür ile tüketilen enerji miktarları açısından

kıyasladığımızda G1 marka ürünün yaklaşık %11 daha azdır. Bu ise bize armatür tasarımının enerji tasarrufu elde etmeden ne denli önemli olduğunu göstermektedir.

Bu simülasyonda da 250W YBSB armatürlerle LED ürünleri kıyasladığımızda maksimum sağlanan tasarruf %25' dir. Bir önceki simülasyonda hesaplanan geri dönüşüm oranı 9,8 yıl olmaktadır. LED ürünlerinin maliyetleri dolayısıyla bu oran yüksek çıkmaktadır. Yine de güç miktarı düştükçe bu oranın düştüğü ortaya çıkmıştır.

4.3.5 150W Konvansiyonel Armatürler ve Alternatif Led Armatürler

150W konvansiyonel armatürler yol durumuna bağlı olarak trafik yoğunluğuna göre M2 ve M3 yol sınıfında kullanılmaktadır. Bu simülasyonda oluşturulan yol modeli dört şeritli karayolunda şerit genişliği 3,5 metre olarak alınmış olup, karşılıklı aydınlatma düzeneği ile aydınlatılmıştır. Örnek yol modeli Şekil 4.12 'de verilmiştir.



Şekil 4.12 M2 yol sınıfında 150W armatürlerin örnek yol modeli

M2 sınıflı yol durumunda 11 farklı armatürün optimum tasarım çalışması yapılmıştır. Direk açıklıkları 24 ile 36 metre aralıklarında değişim göstermiştir. Ölçümü yapılan armatürlerden 3'ü yol aydınlatma kriterlerini Çizelge 4.5'de görüldüğü gibi sağlanamamıştır. B1 marka armatürün kamaşma değerini ifade eden bağıl eşik artışı olması gereken minimum değer üç kat üstünde çıkmıştır. Bu durumdaki bir armatür yol üzerinde trafik kazalarına sebep olabilir.

Çizelge 4.5 M2 Yol Sınıfında Simülasyonu Yapılan Armatürlerin Ölçüm Sonuçları

	ARMATÜR İSMİ	Güç(W)	Işık Akısı (lm)	Etkinlik (lm/W)	s (m)	mh (m)	oh (m)	θ(°)	Lo ≥1.50	Uo ≥0.40	UI ≥0.70	Tl(%) ≤10	SR ≥0.5	W/km
1	150W YBSB A1 MARKA	166	13097,4	78,9	36	11	2	15	1,51	0,62	0,71	6	0,82	15602
2	150W YBSB B1 MARKA	170,3	17464,27	102,55	41	10	2	5	1,55	0,6	0,71	31	0,8	12658
3	150W YBSB C1 MARKA	148,6	12601,28	84,65	35	11	2	5	1,5	0,59	0,73	6	0,83	15008
4	150W YBSB D1 MARKA	168,3	12501,32	74,28	27	13	1	0	1,76	0,74	0,67	2	0,85	12454
5	150W MH A1 MARKA	163,5	9433,95	57,7	29	9,5	1,5	10	1,51	0,64	0,72	5	0,66	20135
6	150W MH B1 MARKA	169,7	9299,56	54,8	25	13	1	10	1,33	0,59	0,7	23	0,77	20542
7	150W MH C1 MARKA	148,8	9344,64	62,8	28	9	2	0	1,51	0,56	0,77	10	0,71	20003
8	150W MH D1 MARKA	164,9	9425,73	56,85	24	11	2	0	1,53	0,41	0,72	3	0,93	13927
9	85W LED B1 MARKA	85,2	6315,88	74,13	36	15	1	10	1,55	0,75	0,73	1	0,84	12434
10	80W LED A1 MARKA	79,3	7374,9	93	27	14	2	10	1,52	0,66	0,73	9	0,9	5868
11	90W LED E1 MARKA	79,9	8653,17	108,3	27	9	2	5	1,54	0,71	0,73	6	0,77	5913
12	150W G1 MARKA YBSB	159	11914	74,93	36	10	2	10	1,52	0,56	0,73	9	0,76	8904
13	150W G1 MARKA MH	152,8	9669	63,28	31	13	2	10	1,51	0,40	0,71	8	0,75	9779
14	114W G1 MARKA LED	112,6	8870	78,77	31	9	1	0	1,51	0,43	0,73	10	0,66	7206

Yukarıda tasarımı yapılan şehir içi ana güzergahlar için trafiğin yoğun olduğu saatlerde hızın 50km/h'in altında olduğu durumlarda M3 aydınlatma sınıfına girmesiyle optimum yol performansı hesaplanmıştır.

Çizelge 4.6 M3 Yol Sınıfında Simülasyonu Yapılan Armatürlerin Ölçüm Sonuçları

	ARMATÜR İSMİ	Güç(W)	Işık Akısı (lm)	Etkinlik (lm/W)	s (m)	mh (m)	oh (m)	θ(°)	Lo ≥1.50	Uo ≥0.40	UI ≥0.70	Tl(%) ≤10	SR ≥0.5	W/km
1	150W YBSB A1 MARKA	166	13097,4	78,9	48	15	2	15	1	0,66	0,73	5	0,88	6972
2	150W YBSB B1 MARKA	170,3	17464,27	102,55	54	13	2	5	1,04	0,62	0,7	26	0,87	6646
3	150W YBSB C1 MARKA	148,6	12601,28	84,8	45	14	2	10	1,06	0,61	0,74	6	0,87	6538
4	150W YBSB D1 MARKA	168,3	12501,32	74,28	37	15	1	15	1,25	0,65	0,57	3	0,91	9088
5	150W MH A1 MARKA	163,5	9433,95	57,7	40	13	2	10	1,01	0,56	0,74	4	0,8	8175
6	150W MH B1 MARKA	169,7	9299,56	54,8	37	12	2	15	1,01	0,64	0,55	26	0,78	9164
7	150W MH C1 MARKA	148,8	9344,64	62,8	39	11	2	0	1,01	0,54	0,74	10	0,8	7738
8	150W MH D1 MARKA	165,8	9425,73	56,85	33	14	2	0	1,03	0,43	0,7	3	0,1	9948
9	85W LED B1 MARKA	85,2	6315,88	74,13	42	17	0,5	5	1,16	0,82	0,7	1	0,89	4090
10	80W LED A1 MARKA	79,3	7374,9	93	34	15	2	15	1,04	0,66	0,85	8	0,91	4599
11	90W LED E1 MARKA	79,9	8653,17	108,3	36	12	2	10	1,03	0,77	0,74	5	0,8	4474
12	150W G1 MARKA YBSB	159	11914	74,93	46	13	1,5	5	1,02	0,73	0,8	8	0,84	6996
13	150W G1 MARKA MH	152,8	9669	63,28	45	14	1	10	1,00	0,53	0,70	8	0,70	6723
14	114W G1 MARKA LED	112,6	8870	78,77	44	13	1	0	1,00	0,47	0,75	9	0,81	5180

Her iki yol tasarımı için de sonuçlar değerlendirildiğinde konvensiyonel armatürlerden YBSB armatürlerin M1, M2 ve M3 yol durumlarında MH armatürlerden direk açıklığı yönünden üstün olduğu görülmektedir. Bu da daha az armatürler daha az enerji harcayarak optimum tasarımların yapılabileceğini göstermektedir. Burada G1 marka armatür için YBSB armatür ile MH armatür arasında direk açıklığı oldukça yakın olarak ölçülmüştür. Renksel özelliklerin önemli olduğu sınıflarda MH armatürlerin kullanılması durumu enerji açısından da uygun olabileceği sonucuna varılabilir. Armatür gücü düştükçe YBSB armatürlere alternatif olarak MH armatürlerin kullanılabilmesi mümkün olmaktadır.

LED armatürlerdeki durum ise direk açıklıklarında YBSB armatürlerle aynı metrajları sağlayamasa da enerji tasarrufu açısından %35'lere varan enerji tasarrufu sağladığı görülmektedir. Daha büyük güçlü olan 114W LED armatür kullanılması durumunda ise direk açıklığı olan diğer YBSB armatürler ile aynı olabilmektedir, sağlanan enerji tasarrufu %20'lere düşmektedir.

4.3.6 M2 Sınıfı 150W YBSB, MH Armatürler ile LED Armatürlerin Enerji Tasarrufu Açısından Karşılaştırılması

Bu bölümde A1 Marka 150W HPS ve MH armatürlerin M2 sınıflı yol durumu için sadece armatürlerin LED ürünler ile değiştirilmesi durumunda enerji tasarrufu ve yeni armatürlerin maliyetlerine göre geri dönüşüm süresi hesaplanmıştır. Oluşturulan yol modeli şekil 4.12'de verildiği gibidir. Çizelge 4.7'de armatürlerin yol üzerinde aynı direk açıklığında sağladıkları yol aydınlatma kriterleri verilmiştir.

Çizelge 4.7 YBSB, MH ve LED Armatürlerin Ölçüm Sonuçları

Armatür Tipi	Aydınlatma Düzenegi Değerleri				Aydınlatma Kriterleri				
	s (m)	mh (m)	oh (m)	θ (°)	$L_o \geq 1.50$	$U_o \geq 0.40$	$U_l \geq 0.70$	TI (%) ≤ 10	SR ≥ 0.50
150W YBSB Armatür	35	11	1	10	1.57	0.77	0.76	5	0.84
105W LED Armatür	35	11	1	5	1.52	0.81	0.75	6	0.82
150W MH Armatür	27	10	1	5	1.57	0.57	0.77	6	0.77
80W LED Armatür	27	10	1	5	1.50	0.80	0.86	5	0.83

Yukarıdaki çizelgeye göre armatürlerin kilometre başına çektikleri güç ve armatür sayısı hesaplanmıştır. Elde edilecek enerji tasarrufu ise aşağıda verilen formülle hesaplanmıştır.

$$\% = \frac{W_C - W_{LED}}{W_C} \times 100 \quad (4.1)$$

Çizelge 4.8 Değişimi Yapılan Armatürlerin Sağladığı Enerji Tasarrufu

	Armatür Tipi	Direk Sayısı/km	Tüketilen Enerji (W/km)	Enerji Tasarrufu/km (%)
Durum1	150W YBSB Armatür	58	9628.0	36.6
	105W LED Armatür	58	6107.4	
Durum2	150W MH Armatür	74	12099.0	51.1
	80W LED Armatür	74	5912.6	

Enerji tasarrufuna göre elde edilen geri dönüşüm süresi eşitlik 4.2'de verilen formüle göre hesaplanmıştır.

$$Geri\ dönüşüm(yıl/km) = \frac{Led\ Fiyatı\ (\$/km)}{Enerji\ Tasarrufu\ (\$/yıl.km)} \quad (4.2)$$

Çalışmada kullanılan 105W LED armatür maliyeti 200\$/adet, 80W LED armatür maliyeti ise 190\$/adet olarak belirlenmiştir. Armatürler günlük ortalama 10 saat olmak üzere yılda 3650 saat çalıştığı kabul edilmiştir. Aydınlatma enerji birim fiyatı Türkiye için 0.067\$/kWh olarak alınmıştır[32]. Yıllık km başına elde edilen enerji tasarrufu eşitlik 4.3'te verildiği gibi hesaplanmıştır.

$$Yıllık\ enerji\ tasarrufu\ \left(\frac{\$}{yıl}\right) = \text{Güç tasarrufu} \left(\frac{kw}{km}\right) \times \text{Yıllık çalışma süresi}(h) \times \text{Elektrik Birim Fiyatı}(\$/kwh) \quad (4.3)$$

Çizelge 4.9 İki farklı Durumda Hesaplanan Geri Dönüşüm Süreleri

	LED Fiyatı(\$/adet)	Led Sayısı (adet/km)	Toplam LED Fiyatı(\$/km)	Enerji Birim Fiyatı (\$)	Enerji Tasarrufu (kW/km)	Enerji Tasarruf Fiyatı (\$/km.year)	Geri Dönüşüm Süresi (yıl)
Durum 1	200.00	58	11600.00	0.067174	3.5206	863.199	13.4
Durum 2	190.00	74	14060.00	0.067174	6.1864	1516.813	9.3

Sonuç olarak yapılan hesaba göre geri dönüşüm süreleri sırasıyla 13,4 ve 9,3 yıl olarak hesaplanmıştır. LED ömrünü de dikkate aldığımızda uzun bir süre olmasına rağmen enerji tasarrufu açısından dikkate alacak olursak çevresel olarak büyük katkı sağlayacağı aşikardır. Konu ile ilgili oluşturulan yayın EK-B' de verilmiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasıyla ülkemizde kullanılmakta olan farklı markalara ait yol aydınlatmasında kullanılan 28 adet farklı tiplerde YBSB, MH ve LED armatürlerin Gonyofotometre cihazı kullanılarak fotometrik özellikleri ortaya konmuştur. Mevcut yol düzenleri için şehiriçi ana güzergahlar ve anayollar olmak üzere armatürlerin simülasyonları kullanılmış ve performansları incelenmiştir.

Armatürlerin laboratuvar ölçümlerinden çıkan sonuçları incelediğimizde armatür verimlerini ele alacak aldığımızda TEDAŞ'ın oluşturduğu yol aydınma armatürleri ile ilgili şartnamesinde armatür veriminin en az %75 olması gerektiği belirtilmiştir. Ele aldığımız 28 farklı armatür içinde ölçüm sonuçlarından elde ettiğimiz değer ortalama %81 'dir. Ölçümünü yaptığımız armatürlerden sadece 3'ü olması gereken değer altında kalmıştır. En yüksek armatür verimi ise %90,3 olarak ulaşılmıştır. Buradan hareketle yol aydınlatma armatürlerinde hangi tasarım olursa olsun en az %10' luk bir ışık kaybı söz konusu olduğu sonucuna varılmıştır.

Armatürlerin güç faktörü değerleri incelendiğinde standartlarda olması gereken minimum değer 0,95 olması gerekirken, çıkan sonuçlarda armatürlerin %80'i bu değer altında kalmıştır. Kilometre açısından uzun mesafeli yolların aydınlatıldığı düşünüldüğünde kullanılan balastlar nedeniyle armatürlerin iç tesisatında doğru kompanzasyon yapılmadığı için sistemde reaktif güçlerin çekilmesi ve harmoniklerin oluşumu kaçınılmaz olmaktadır. Konvansiyonel armatürlerin ölçümü yapılırken iç yapısı incelendiğinde genel olarak hepsinde kompanzasyon uygulaması yapılmıştır. Buna

rağmen güç faktöründe çıkan sonuçlara bakıldığında doğru hesaplamaların yapılarak doğru kondansatörlerin seçilmediği ortaya çıkmıştır. Üretim aşamasında bu testlerin yapılarak güç faktörü kontrolü yapılmalıdır. LED armatürler için ise bu değer 0,97-0,98 arasında uygun bir değerde olduğu görülmektedir.

Ölçümünü yaptığımız lambaların YBSB olanların etkinlik faktörleri 98-113 lm/W olarak değişmektedir. MH armatürlerin etkinlik faktörleri 74-88 lm/W değerleri arasında ölçülmüştür. LED armatürlerde ise etkinlik değerleri 74-122 lm/W olarak belirlenmiştir. Literatürde LED sistemlerin etkinliklerin son yıllarda daha yüksek seviyelere çıkmış olduğu belirtilmiş olsa dahi uygulamada bu değerlere henüz ulaşamamıştır.

DIALUX programında ölçümü yapılan bütün armatürlerin uygun yol modellerine göre simülasyonu yapıp performansları incelenmiştir. Aynı tipteki armatürler farklı modeller ve farklı markalar için farklı direk açıklıkları oluşturmuştur. Bu da armatür tasarımının ışık dağılımına etkisini göstermektedir. Her armatür için sağlanan maksimum direk açıklığı optimize edilerek elde edilmiştir. Bu da yol üzerinde armatür tasarımı yapılırken kullanılacak armatürün fotometrik özellikleri dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

M1 sınıfında 400W konvansiyonel armatürlerin kullanılması durumunda TEDAŞ'ın şartnamesinde belirtilen minimum direk açıklıkları sağlanmıştır. En yüksek etkinlikteki 150W lık LED armatür ise yol aydınlatma kriterlerini sağlamasına rağmen direk açıklığı olarak YBSB armatüre göre çok düşük kalmaktadır. Enerji tasarrufu açısından bakıldığında ise %38 daha az enerji tüketmektedir. Fakat LED ürün kullanılması durumunda kilometre başına armatür sayısı 51 adet daha fazla olmaktadır ki bu da maliyet açısından da uygun bir çözüm olmamaktadır. Uygun tasarım için daha yüksek güç ve etkinliğe sahip LED armatürlere ihtiyaç vardır.

M1 sınıfı 250W armatürler ve bunlara alternatif LED armatürler için ise kullanılan bütün armatürler yol aydınlatma kriterlerini sağlamıştır. Maksimum direk açıklığı diğer yol sınıflarında olduğu gibi YBSB armatürlere aittir. A1 Marka MH armatür diğer MH armatürlere göre en yüksek direk açıklığını sağlamıştır. Bu ürün yerine aynı direk açıklığını sağlayan F1 Marka 153W LED ürün kullanıldığında %49,5 daha az enerji harcandığı görülmüştür. Burada dikkat edilmesi gereken diğer husus ise her ne kadar

aynı direk açıklığına sağlasalar bile armatür tasarımlarından dolayı MH armatürün montaj yüksekliği 16 metre iken, LED armatürde bu mesafe 10 metredir ve daha az maliyet oluşturmaktadır.

M2 ve M3 sınıflarında 150W konvansiyonel ve alternatif LED armatürler kıyaslandığında maksimum direk açıklığını sağlayan tasarım YBSB armatürler olmuştur. Elde edilen sonuçlara göre 400W ile 150W güç değerleri arasında, güç değeri azaldıkça LED ürünlerin kullanılması daha avantajlı duruma düşmektedir. Hem direk açıklıkları birbirine yakın değerler oluşmakta hem de enerji tasarrufu açısından daha yüksek oranlar oluşmaktadır. Maliyet çalışmasını yaptığımız uygulamada aynı direk açıklığı için YBSB armatür yerine LED ürün kullandığımızda %36,6 enerji tasarrufu, MH armatürler yerine LED ürün kullanıldığında ise %51,1 enerji tasarrufu sağladığı hesaplanmıştır. Hesaplanan geri dönüşüm süreleri sırasıyla 13 ve 9 yıldır. LED ömürleri dikkate alındığında uzun bir süre olmasına rağmen sağlanan enerji tasarrufu ile çevresel etkenler düşünüldüğünde uygulanabilir olduğu görülmektedir. Yapılan yayın çalışması EK-B' de verilmiştir. Bunlara ek olarak her durum için YBSB armatürler yerine LED ürünlerin kullanılması doğru bir yaklaşım değildir. Gerekli ölçümlerin ve uygun tesisatın oluşturulması gerekir.

Ülkemizde kullanılan yol aydınlatması armatürleri ile ilgili değinilmesi gereken bir diğer husus armatürlerin montaj ve bakım açısından kullanılabilir olmasıdır. Konu ile ilgili TEDAŞ'ın MYD/95-009.B nolu şartnamesinde belirtmiş olduğu gibi montaj özellikleri dikkate alınmalıdır. Ölçümünü yaptığımız armatürlerden bir kısmı bu açıdan elverişsiz tasarımlarda yapılmıştır. Laboratuvar ortamında sökme ve takma işlemleri bir nebze daha kolay olsa da 15-20 metre uzunluğundaki direklerde bu işlemlerin yapılacağı düşünüldüğünde konunun önemi anlaşılacaktır. Bu nedenle armatür imalatı yapılırken kolay montaj ve taşınabilir boyutlarda da efektif olmasına önem verilmelidir.

Sonuç olarak ülkemizde kullanılan aydınlatma aygıtlarının performansları değerlendirildiğinde her ürün için yol üzerinde farklı tasarıma ihtiyaç olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlarda görüldüğü gibi her armatür için montaj yüksekliği, eğim açısı, direk açıklığı gibi değerler tasarıma göre farklılık göstermektedir. Ürünler kullanım amaçlarına uygun olarak seçilmelidir. Enerji tasarrufu açısından

etkinlikleri yüksek, sürücü ve yayalar için ise emniyetli görüş şartlarını sağlayan ürünler öncelikli olarak tercih edilmelidir. Ürünlerin ışık dağılım eğrileri elde edilerek yol üzerindeki performansları uygulamaya geçilmeden önce değerlendirilmelidir. Simülasyon sonuçlarına göre de ülkemizde üretimi yapılan armatürler için M1 yol tasarımında 400W YBSB ürünlere alternatif LED ürünler henüz kullanıma uygun olmamasına rağmen, daha küçük güçlerde M1, M2 ve M3 yol sınıfında LED ürünlerin kullanılabilirliği ortaya çıkmıştır. Hesaplama sonuçlarda MH armatürlerin yerine LED armatürlerin alternatif olarak kullanılması aynı direk açıklığını sağlama ve daha az enerji tüketmesi nedeniyle daha avantajlı olduğu görülmektedir. LED ürünlerde devam eden ürün çalışmaları ile maliyetlerin zamanla daha aşağılara indirilmesi ile birlikte kullanım alanları ve sağladığı tasarruf değerlerinin bu sonuçlara göre artması beklenmektedir.

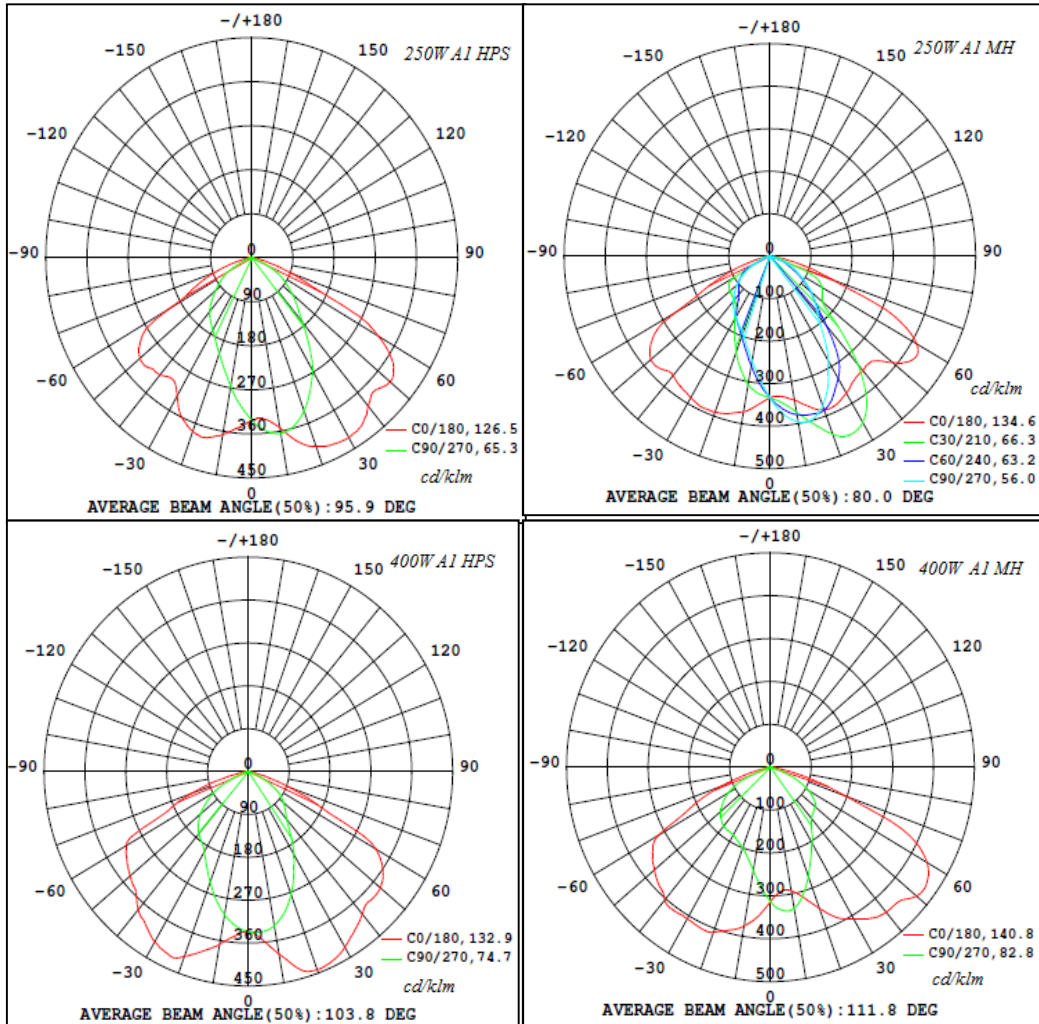
KAYNAKLAR

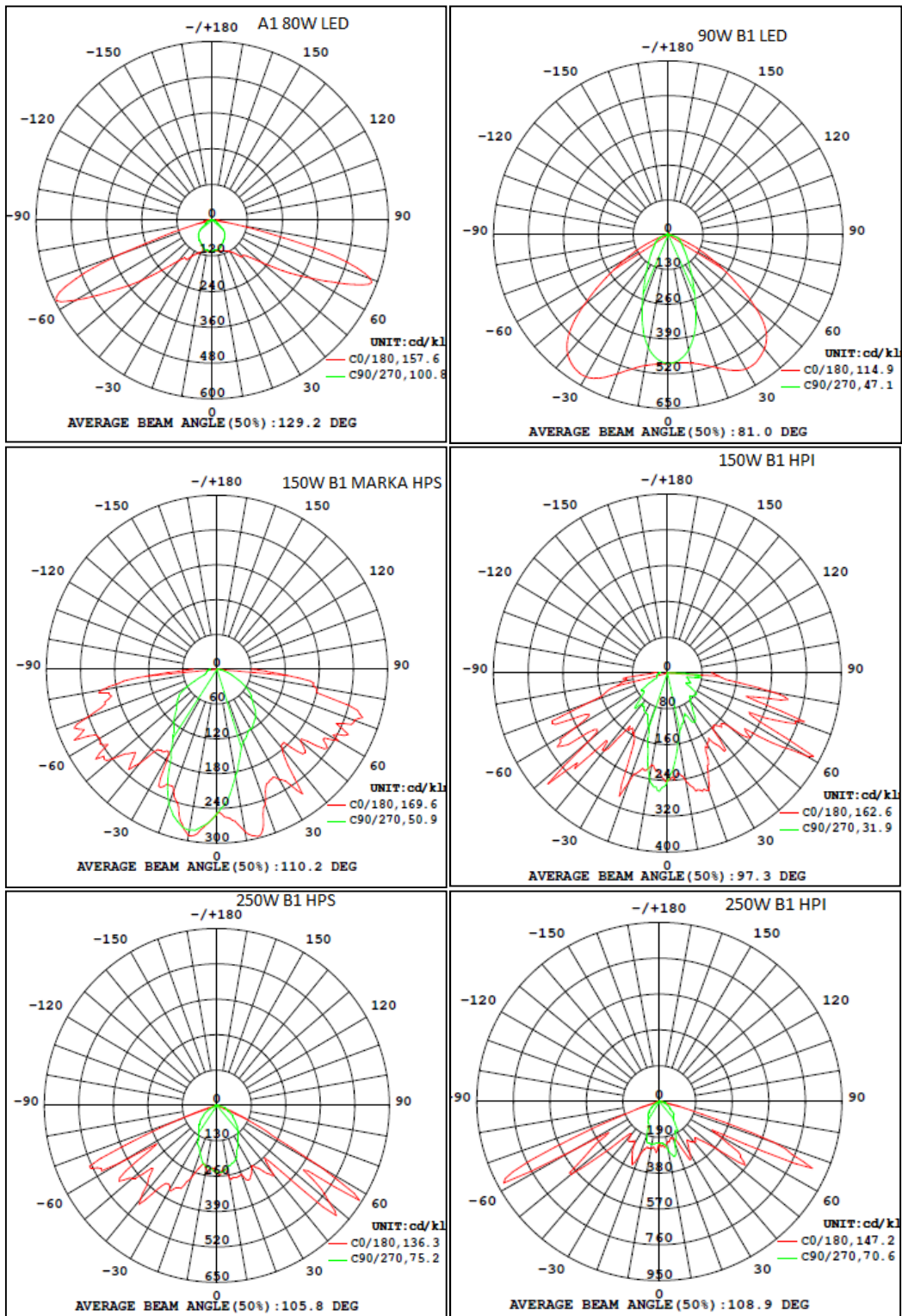
- [1] Molesdale, P. D. ve Ruff, H. R. (1981). "Fifty years of discharge lighting-the golden jubilee," *Public Light.*, 46:248–255.
- [2] Hargroves, R. A., S. B, A.R.C.S., D.I.C., F.C.I.B.S., ve M.I.P.L.E.(1983). "Road lighting," 130:8.
- [3] Pracki, P. (2011). "A proposal to classify road lighting energy efficiency," *Light. Res. Technol.*, 43:3, 271–280.
- [4] Wanvik, P. O. (2009). "Road Lighting and Traffic Safety/Do we need Road Lighting?," Norwegian University of Science and Techonology.
- [5] Kostic, M., Djokic, L., Pojatar, D. ve Strbac-Hadzibegovic, N.(2009). "Technical and economic analysis of road lighting solutions based on mesopic vision," *Build. Environ.*, 44:1 66–75.
- [6] Ylinen , A. ve Ta, L. (2011). "Road Lighting Quality , Energy Efficiency , and Mesopic Design – LED Street Lighting Case Study," *Leukos*, 08: 1, 9–24.
- [7] Hermoso Orzáez, M. J. ve De Andrés Díaz, J. R. (2013). "Comparative study of energy-efficiency and conservation systems for ceramic metal-halide discharge lamps," *Energy*, 52: 258–264.
- [8] Güler, Ö. ve Onaygil, S. (2003). "The effect of luminance uniformity on visibility level in road lighting," *Light. Res. Technol.*, 35:3, 199–215.
- [9] CIE Pub. 115, (1995) "Recommendations for the Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic,".
- [10] T.Standard, "TS EN 13201-3," no. 112, 2014.
- [11] EN13201-1, "Road lighting - Part 1: Selection of lighting classes," 2004.

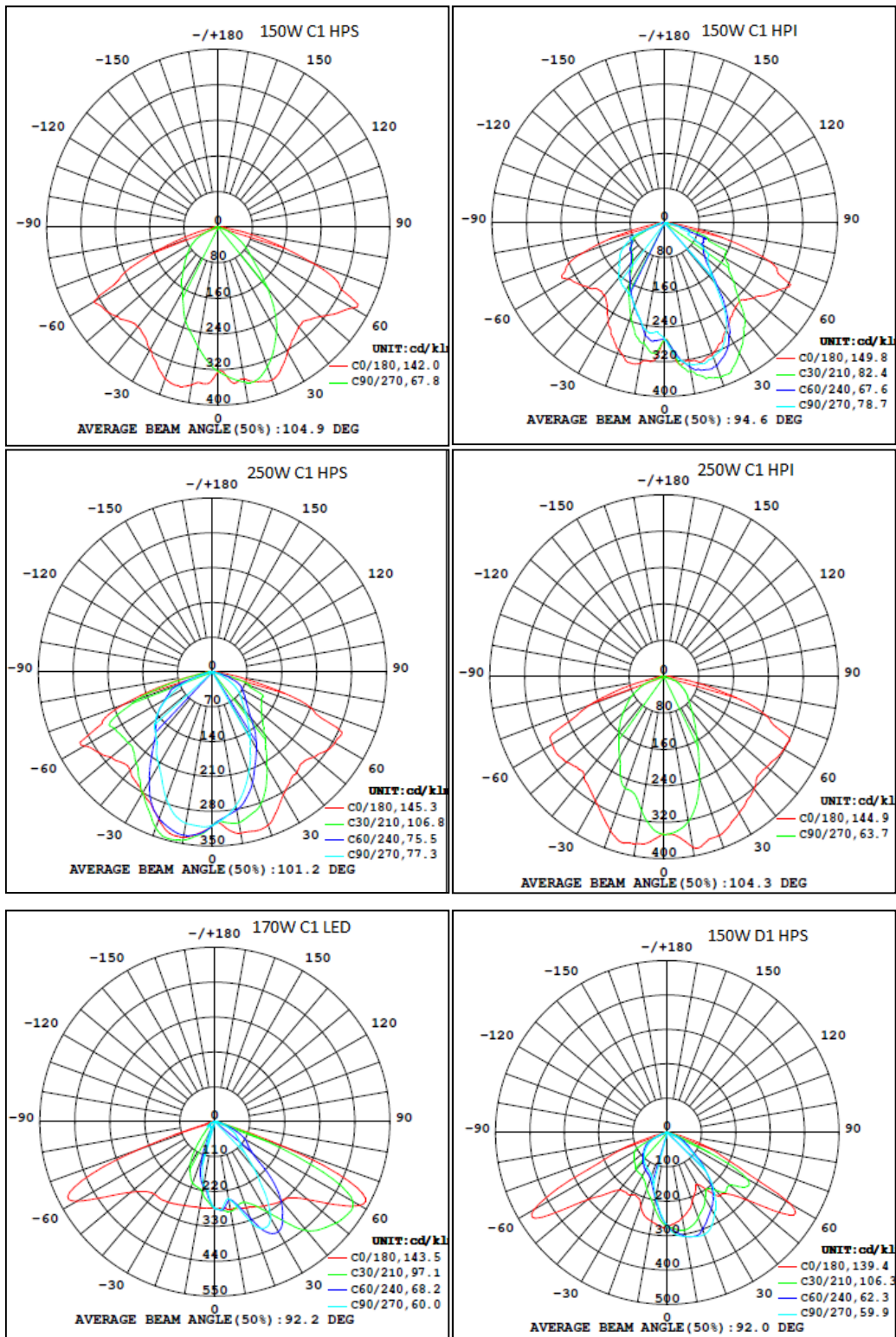
- [12] Tedaş-myd/95-009.b, "Yol aydınlatma armaturleri teknik şartnamesi."
- [13] Umurkan, N., "Yol Aydınlatması Ders Notları," 2008.
- [14] CIE Pub. 140, "Road Lighting Calculations," 2000.
- [15] Raynham, P., (2004). "An examination of the fundamentals of road lighting for pedestrians and drivers," .
- [16] Bommel, W. V., Road Lighting: Fundamentals, Technology and Application. Springer International Publishing Switzerland 2015.
- [17] Li F., Chen, D., Song, X. ve Chen, Y. (2009). "LEDs: A promising energy-saving light source for road lighting," Asia-Pacific Power Energy Eng. Conf. APPEEC, 4–6,
- [18] CREE, "Led Lighting." <http://www.cree.com/news-and-events/cree-news/press-releases/2012/april/120412-254-lumen-per-watt>. 21 Ağustos 2015.
- [19] Puolakka, L., Ylinen, M., Halonen, A-M., (2012). "Road lighting in transition," Finland.
- [20] Sirel,O."Fotometrikölçmeler/Teknolojs Semineri," 2004. <http://www.yfu.com/yayinlar.aspx>.
- [21] Indalux, Lighting Engineering. 2002.
- [22] EN13201-3, (2013)"Road Lighting-Part3:Calculations of performance,".
- [23] Güler, Ö., Onaygil, S., "Yol Aydınlatması Tesisatlarında Armatür Fotometrik Değerlerinin Önemi."
- [24] Ünal, A. (2009). Aydınlatma Tekniğı. İstanbul: Birsen Yayınevi,.
- [25] Bayrak, T. ve Alboyacı, B., (2012). "Comparison of Gas Discharge Lighting Armatures and LED Lighting Armatures in Terms of Harmonics Originating from Them," 313–318.
- [26] Kocatepe, C. Uzunoğlu, M., Yumurtacı, R., Karakaş, A. ve Arıkan, O. (2003). Elektrik Tesislerinde Harmonikle, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [27] Philips Lighting Academy, (2008). "Basics of Light and lighting,".
- [28] Hi-tech, B. (2012). "GOSoft Software Goniophotometers User ' s Manuel."
- [29] CIE Pub 127, (2007). "LED Measurement,".

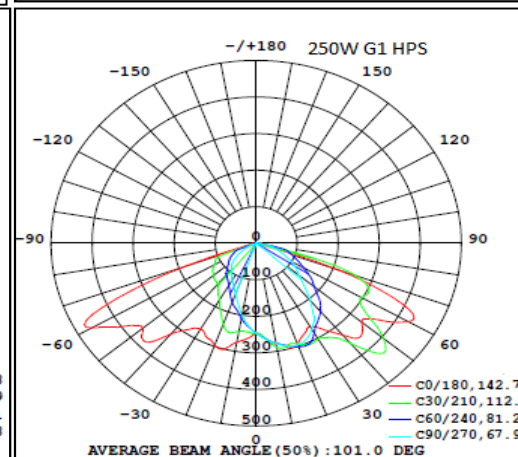
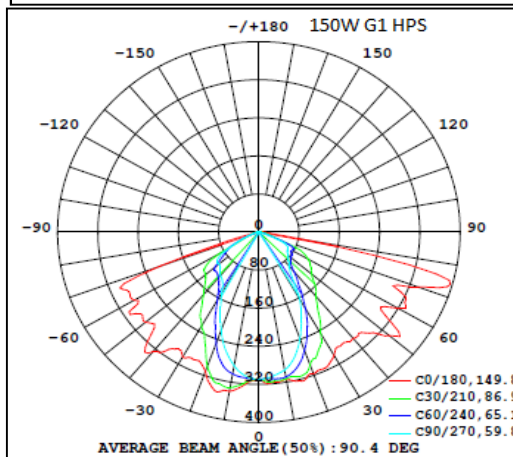
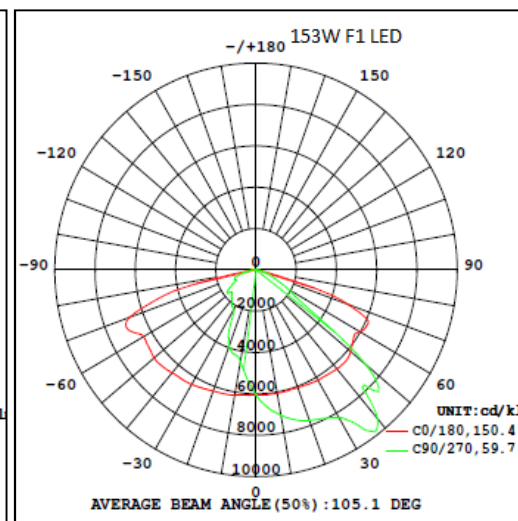
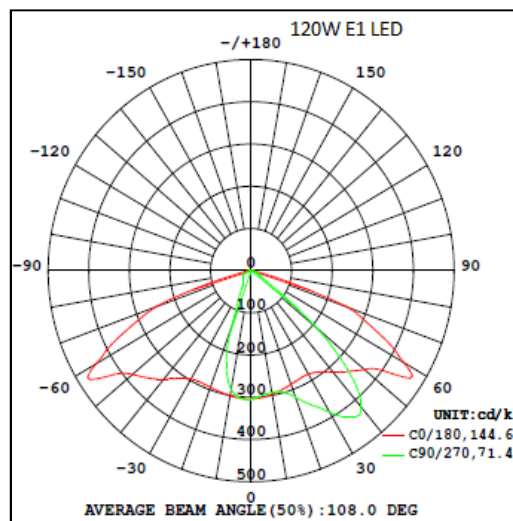
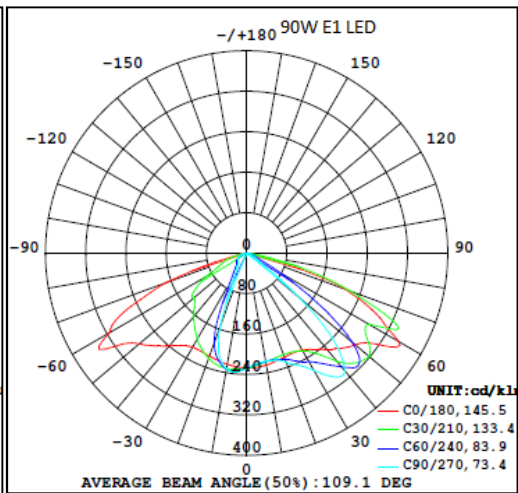
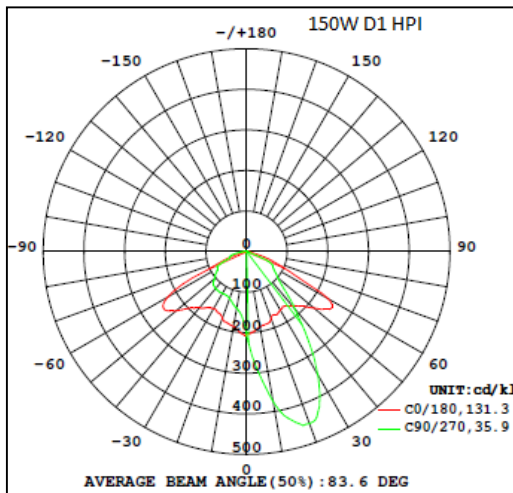
- [30] Fotios, S. ve Cheal, C. (2009). "Correction: Lighting for subsidiary streets: Investigation of lamps of different SPD. Part 2 -- Brightness," Light. Res. Technol., 41:4,381–383,.
- [31] CIE Pub 154, "The Maintenance of Outdoor Lighting Systems," 2003.
- [32] TEDAŞ, "Yol Aydınlatması Elektrik Tarifeleri." <http://www.tedas.gov.tr/BilgiBankasi/Sayfalar/ElektrikTarifeleri.aspx>.

GONYOFOTOMETREDE ÖLÇÜMÜ ALINAN ARMATÜRLERİN DAĞILIM EĞRİLERİ









TEZ İLE İLGİLİ YAYIMLANAN KONFERANS BİLDİRİSİ

Proc. of The Third Intl. Conf. on Advances in Computing, Electronics and Communication - ACEC 2015
 Copyright © Institute of Research Engineers and Doctors, USA. All rights reserved.
 ISBN: 978-1-63248-064-4 doi: 10.15224/978-1-63248-064-4-107

Comparison of Road Lighting Luminaires for M2 Road Lighting Class Considering Energy Efficiency

[Ramazan Ayaz, Asiye Kaymaz, Hakan Akca, Ali Ajder, Adem Unal, Magdoom Tawroon]

Abstract— Using LED luminaires instead of luminaires with conventional lamps may lead better energy savings and energy efficiency. In order to decide to choose more efficient road lighting system a comparison between conventional lighting luminaires and LED based luminaires should be examined. In this study, the luminaires with high pressure sodium (HPS) lamp which is the most widely used technologies in road lighting and less frequently used luminaires with metal halide (MH) lamps analyzed and compared with LED luminaires. The photometric data of the three different luminaires were investigated by using Goniophotometer and Integrating Sphere in the laboratory. After that, the obtained data applied to a sample road model in Dialux software program. Lighting designs using different types of lighting luminaires are created by taking minimum criteria of CIE standards for M2 lighting class into consideration. This study shows that 36.6% energy saving can be achieved in case of using new LED technology instead of the currently used HPS technology. Also payback period is estimated as 13 years with energy prices of Turkey. In case of using luminaires with MH lamps are going to be 51.1% energy saving and 9.3 years payback period respectively.

Keywords— Road lighting, energy efficiency, LED luminaire, M2 road class

I INTRODUCTION

Nowadays, fossil fuels are consumed rapidly, CO₂ emissions and global warming are also increasing due to increase of energy consumption. Therefore, studies and applications related to energy saving and energy efficiency have become more important day by day. New generation products in parallel with the developing technology are created in lighting and the current lighting systems have been improved.

The energy consumption for lighting is about %20 of the total consumed electrical energy in the world. Also about 3% of this ratio is used by road lighting [1]. This rate may seem like low. The amount of energy consumption annually in Turkey is nearly 245 billion kWh so energy saving will be provided significantly thanks to make improvement in the part of %13 [2].

Traffic load has increased with advancing technology and energy consumption in the developing society. Traffic flow is not only heavy in daytime but also it increasingly continues in the night-time when we can't take advantage of daylight [3]. In addition, night-time accidents occur more in number and more severe than daytime accidents [4][5]. Most part of these accidents happens due to vision problems [6]. Therefore, optimum road lighting is needed for the lessening of traffic accidents, driver's comfort and driving safety. Besides reduction of electric consumption and maintenance expenditures for optimum road lighting, average luminance (L_{av}), overall luminance uniformity (U_o), longitudinal luminance uniformity (U_l), threshold increment (TI) and surround ratio (SR) are important parameters in road lighting design [7][8][9].

HPS, MH and LED luminaires are generally used in road lighting. High luminous efficacy, long life and proven reliability are the main characteristics of the most widely used HPS lamps in road lighting [1][10][11]. MH lamps are also preferred particularly in urban roads where visual quality is at the forefront owing to their high color rendering and high color temperature features. In the recent years, high luminous efficacy values are provided by means of rapid developments in LED technology. Cree Company reached 254 lm/W luminous efficacy in the laboratory conditions [13].

In this manuscript, HPS, MH and LED luminaires were analyzed by comparison on a sample road model in the Dialux Software program. This manuscript was organized as follows: sample road model, Case 1 and Case 2 are presented in Section II. The calculated energy costs and payback time of luminaires are given in Section III. Eventually, conclusions are discussed in Section IV.

II EXPERIMENTAL STUDY

In this study, photometric measurements of road lighting luminaires are acquired by using far field Goniophotometer and Ulbricht Sphere in the laboratory. The C plane of goniophotometer is the most suitable method to measure luminous intensity distribution of lighting luminaire. The representation of luminaires in the (C, γ) coordinates system and goniophotometer measurement setup are given in Fig. 1 and 2 respectively.

Ramazan Ayaz/Asiye Kaymaz/Hakan Akca/Ali Ajder/
 Adem Unal/Magdoom Tawroon

Yildiz Technical University
 Turkey

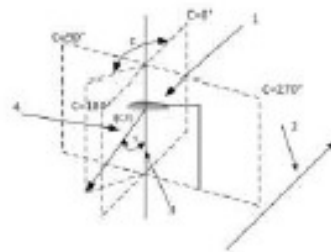


Fig. 1 The representation of luminaires in the (C, γ) coordinate system.



Fig. 2 Goniophotometer measurement setup

After total luminous flux of light sources was measured with Ulbricht Sphere, the luminaires are measured according to EN13201-3 standard (calculations of performance road lighting) by using Goniophotometer device [14]. As the results of measurements are obtained the maximum luminous value, the coordination of the maximum luminous intensity $I(C, \gamma)$, the luminous intensity distribution curve, luminous efficacy and the total luminous flux.

The four different luminaires are used in this study. Two of them were HPS and MH luminaires with 150W conventional light sources and the others are 80W and 105W LED luminaires having the same design. Photometric and electrical values of these luminaires are given in Table 1.

TABLE 1. PHOTOMETRIC AND ELECTRICAL VALUES OF FOUR DIFFERENT LUMINAIRES

Luminaire Name	Luminaire Power (W)	Power Factor	Luminous Flux (lm)	Luminous Efficacy (lm/W)	Max. Luminous Intensity (cd/klm)	Max. θ (C, γ)
150W HPS Luminaire	166*	0.8992	13687.64	78.84	378.3	5,24
150W MH Luminaire	163.5*	0.8992	9554.94	58.44	481.4	180,58
105W LED Luminaire	105	0.9641	11756.85	111.97	568.2	135,50
80W LED Luminaire	80	0.9527	8664.8	108.31	395.5	45,49

*It is inclusive ballast losses

Luminous intensity values of these luminaires are attained with 5° intervals between 0-355° at the 72 different C planes and γ angles were measured with 1° intervals between 0-90° for each C plane. The luminous intensity values are given as cd/klm unit. The light distribution curve of each luminaire is shown in Fig. 3.

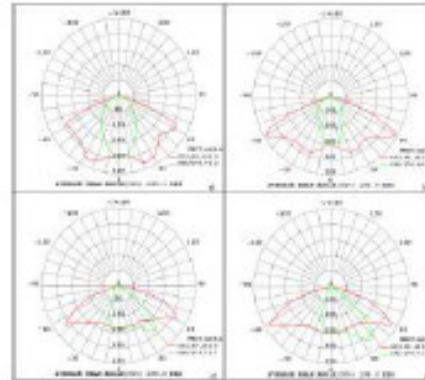


Fig. 3 Luminous intensity distribution curves of the luminaires in the C plane a) 150W HPS b) 150W MH c) 90W LED d) 105W LED.

A. Dialux Roadway Model

The proposed road model belongs to the M2 road class which allows middle and high driving speed designed for motorized vehicle traffic [15]. The road model consists of four-lane divided road. The width of each lane is 3.5m. The road model is illuminated with the opposite arrangement at A1 lighting situation. Road surface has been considered as R3 pavement class.

Luminaire maintenance factor is considered to be 0.89 because luminaire protection factor is IP66 [16]. The designed road model is given in Fig 4.

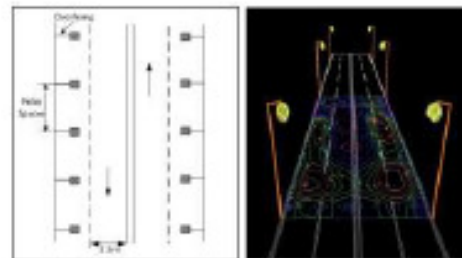


Fig 4. Designed road model

B. Case 1: A Comparison Between 150W HPS and 105W LED Luminaires

The photometric measurement results of each luminaire obtained from Goniophotometer are saved in ELUMDAT format. It is analyzed replacing the conventional HPS luminaires by the new generation LED luminaires. In the first stage, data of 150W HPS luminaire are integrated into the road model. Mounting height (h), overhang (oh) and luminaire arm angle (θ) are determined that achieve the minimum road lighting criteria for providing the maximum pole space (s). In the second stage, 105W LED luminaire is

integrated into the road model without changing pole space. As a result, using LED luminaires is succeeded for min. road lighting criteria. Lighting arrangement values and road lighting parameters for case 1 are given Table 2.

TABLE 2. LIGHTING ARRANGEMENT VALUES AND ROAD LIGHTING CRITERIA FOR CASE 1

Type of Luminaires	Lighting Arrangement Values				Road Lighting Criteria				
	s (m)	mh (m)	sh (m)	θ (°)	E_{av} (lx)	U_e (%)	U_1 (%)	TI (%)	SR
150W HPS Luminaires	35	11	1	10	≥1.50	≥6.40	≥0.70	≤10	≥0.50
105W LED Luminaires	35	11	1	5	1.52	0.81	0.75	6	0.82

As is also understood from Table 2, the arm angle of LED luminaire was only changed as 5° without changing road arrangement. When the distance of poles was optimized, it was seen that both luminaires provided minimum road lighting criteria at maximum 35m pole space. Acquired uniform luminous distributions of HPS and LED luminaires in the road surface are seen in the contour lines which are given in Fig. 5 and 6. The light distribution curves in the road surface is given by the observer close to the pole position for both the carriageways. Observer coordinates for first carriageway are -60m, 1.75m, 1.5m. Here, the distance between observer and pole is 60m. The width of observer position from the edge of the lane is 1.75m and the height of the observation point is 1.5m. For the second carriageway, distances are -60m, 12.25m, 1.5m respectively.

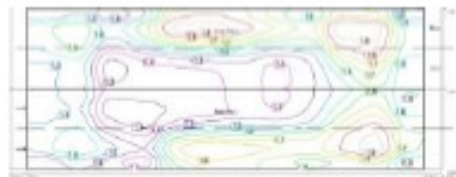


Fig 5. Contour lines in the road surface for 150W HPS luminaire

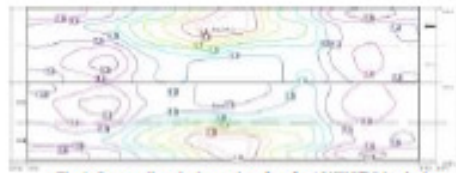


Fig 6. Contour lines in the road surface for 105W LED luminaire

C. Case 2: A Comparison Between 150W MH and 80W LED Luminaires

As in Case 1, 150W MH luminaire is integrated to the sample road model. Maximum pole space was determined to provide the minimum criteria of road lighting. In this condition, on max. pole space, 80W LED luminaires are replaced by MH luminaires and it is seen that LED luminaires supplied required road lighting criteria. The measurement results for case 2 are given in Table 3.

TABLE 3. LIGHTING ARRANGEMENT VALUES AND ROAD LIGHTING CRITERIA FOR CASE 2

Type of Luminaires	Lighting Arrangement Values				Road Lighting Criteria				
	s (m)	mh (m)	sh (m)	θ (°)	E_{av} (lx)	U_e (%)	U_1 (%)	TI (%)	SR
150W MH Luminaires	27	10	1	5	1.57	0.57	0.77	6	0.77
80W LED Luminaires	27	10	1	5	1.50	0.80	0.80	5	0.83

As seen in Table 3, the same lighting arrangement is used for both luminaires. When the distance of poles was optimized, it was found that each luminaire provided minimum road lighting criteria at maximum 27m pole space. Attained uniform luminous distributions of MH and LED luminaires in the road surface are seen in the contour lines which are shown in Fig. 7 and 8. The observer coordinates are same for both carriageway as is given in Case 1.

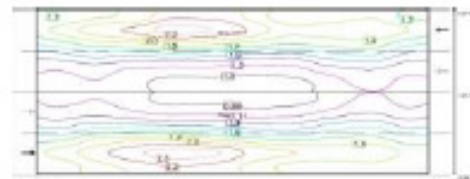


Fig 7. Contour lines in the road surface for 150W MH luminaire

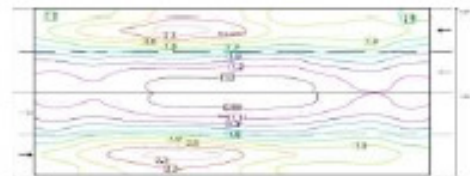


Fig 8. Contour lines in the road surface for 80W LED luminaire

III. ENERGY COSTS AND RESULTS

Total energy consumption per kilometer of luminaires is calculated in cases 1 and 2. In case of using LED luminaires instead of conventional luminaires, energy saving rate is calculated considering equation 1.

$$\% = \frac{W_c - W_{LED}}{W_c} \times 100 \quad (1)$$

Where, W_c and W_{LED} is energy consumption of conventional luminaires and LED luminaires respectively. The calculated power values, number of pole and energy saving rate for case 1 and 2 are given in Table 4.

TABLE 4. CONSUMED POWER, NUMBER OF POLE AND ENERGY SAVING RATE PER KM

	Type of Luminaires	Number of Pole/km	Consumed Power (W/km)	Energy Saving/km (%)
Case 1	150W HPS Luminaires	58	9628.2	36.6
	105W LED Luminaires	58	6107.4	
Case 2	150W MH Luminaires	74	12099.0	51.1
	80W LED Luminaires	74	5912.6	

As it is seen in Table 4, 36.6% energy saving was provided when replacing the current 150W HPS luminaires with 105W LED luminaires in M2 road lighting class. Likewise, 51.1% less energy consumption has occurred when using 80W LED luminaires instead of 150W MH luminaires.

The payback time in term of energy saving for both cases is calculated equation 2 below. LED luminaire cost and unit electrical energy cost were taken into account in calculation of payback time.

$$\text{Payback Time (year/km)} = \frac{\text{LED Luminaire (\$/km)}}{\text{Energy Saving (\$/year.km)}} \quad (2)$$

In this study, costs of the 105W LED and 80W luminaires are 200 \$/piece and 190 \$/piece respectively. Daily operation time of luminaires is assumed to be 10 hours and total annual operating time is 3650 hours. Unit electrical energy cost for lighting is 0.0675 per kWh in Turkey [17]. Annual energy cost savings per km is calculated using following equation.

$$\text{Annual Energy Cost Savings (\$/year)} = \text{Power Saving (kW/km)} \times \text{Annual Operation Time (h)} \times \text{Unit Energy Cost (\$/kWh)} \quad (3)$$

Calculated total costs and payback times are given in Table 5 for cases 1 and 2.

TABLE 5. COST ANALYSIS OF CASE 1 AND 2

	LED Price (\$/piece)	Number of LEDs (no/km)	LED Total Cost (\$/km)	Energy Unit Cost (\$)	Energy Power Saving (kW/km)	Energy Saving Cost (\$/km.year)	Payback Time (year)
Case 1	200.00	58	11600.00	0.067774	3.5206	863.199	13.4
Case 2	190.00	74	14060.00	0.067774	6.1864	1516.813	9.3

As shown in Table 5, annual energy cost savings per km for both cases are determined to be 863.199 \$ and 1516.813 \$, respectively. According to provided energy saving for the two cases, payback time is found to be 13.4 and 9.3, respectively.

MH luminaires provide road lighting criteria with short pole space in comparison with HPS luminaires. Thus, energy consumption and the number of using MH luminaires are more than HPS luminaires. The same road lighting criteria can be provided with using low power LED luminaire at the same pole space. As a result, payback time diminishes for LED luminaires.

IV. CONCLUSION

In this study, photometric values of different types of road lighting luminaires which belong to M2 road class are measured in the laboratory and light distribution curves are obtained. These data are used in M2 road model which is created in Dialux software program.

In the first case, 150W HPS luminaires are placed on the sample road model with opposite lighting arrangement. Maximum pole space which provides the minimum road lighting criteria is determined. Then, the simulation is repeated with 105W LED luminaires. The simulation results showed that the energy saving is achieved 36.6% and the payback time is 13.4 years for LED luminaires.

In the second case, 150W MH are placed to sample road model. Maximum pole space is specified for minimum road lighting criteria in the same way. However, 80W LED luminaires that allows these requirements in the same lighting conditions have been replaced with MH luminaires. The results of the analysis showed that 51.1% of the energy savings is achieved and the payback time was 9.3 years for LED luminaires.

Consequently, using LED luminaires instead of conventional luminaires is significantly contributed to energy saving in M2 road class. According to calculated results, payback time of LED luminaires is too long for lifetime of LEDs. However, LED luminaire cost has gradually fallen in price based on developing LED marketing and it is expected to decrease this time. Moreover, payback time is got shorter in some countries where energy unit cost is higher because of increasing energy saving cost. Nowadays, rapidly consumption fossil fuels, increasing CO₂ emissions and global warming has shown that how important energy saving and energy efficacy are.

Acknowledgment

The authors would like to thank The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) and Scientific Research Project Coordination of Yıldız Technical University (BAP) for the financial support during the duration of this study.

References

- [1] F. Li, D. Chan, X. Song, and Y. Chen, "LEDs: A promising energy-saving light source for road lighting," in Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, APPEEC, 2009.
- [2] E. Kankis, "Turkey 2013 Annual Energy Statistics Report," 2013.
- [3] D. Wilson, B. Ananthasayan, P. Haxson, P. J. Lefkovich, C. P. Watson, K. Burkett, J. Arora, J. Howard, and J. Unick, "European Road Lighting Technologies," 2001.
- [4] R. H. Simons, "Road Lighting and Accidents," *Light. Res. Technol.*, vol. 57, no. 4, pp. 243-246, 1992.
- [5] A. Elerias, M. Elsholma, and L. Halonen, "Analysis of Road Lighting Quantity and Quality in Varying Weather Conditions," *LEUKOS J. Illum. Eng. Soc. North Am.*, vol. 4, no. 2, pp. 89-98, 2013.
- [6] P. Rayburn, "An examination of the fundamentals of road lighting for pedestrians and drivers," *Light. Res. Technol.*, vol. 36, no. 4, pp. 307-316, Dec. 2004.
- [7] M. Kostic and L. Djokic, "Recommendations for energy efficient and visually acceptable street lighting," *Energy*, vol. 34, no. 10, pp. 1565-1572, Oct. 2009.

- [8] P. Boyce and P. Rayburn, *The SLL Lighting Handbook*, 2009.
- [9] "Standard EN13201-2-Road Lighting-Part 2 Performance Requirements," 2013.
- [10] C. R. B. S. Rodrigues, P. S. Almeida, G. M. Soares, J. M. Jorge, D. P. Pinto, and H. A. C. Braga, "An experimental comparison between different technologies arising for public lighting: LED luminaires replacing high pressure sodium lamps," *IEEE Int. Symp. Ind. Electron.*, pp. 141-146, Jan. 2011.
- [11] F. Li, Y. Chen, L. Yang, and D. Chen, "Comparative in Situ Study of LEDs and HPS in Road Lighting," *LEUKOS J. Illum. Eng. Soc. North Am.*, vol. 8, no. 3, pp. 205-214, 2013.
- [12] M. Kotic, L. Djokic, D. Pejatar, and N. Stihac-Hadribegovic, "Technical and economic analysis of road lighting solutions based on mesopic vision," *Build. Environ.*, vol. 44, pp. 66-75, 2009.
- [13] "Cree." [Online]. Available: <http://www.cree.com/news-and-events/cree-news/press-releases/2012/april/120412-254-lumen-per-watt> [Accessed: 21-Aug-2015].
- [14] "Standard EN 13201-3 Road Lighting-Part 3 Calculation of Performance," 2013.
- [15] "Standard EN 13201-1 Road Lighting-Part 1: Selection of Lighting Classes," 2004.
- [16] "CEI Pub. 154 The Maintenance of Outdoor Lighting Systems," 2003.
- [17] "Turkish Electricity Distribution Company." [Online]. Available: <http://www.tedas.gov.tr/010lg/1ankas/Sayfalar/ElektrikTarfisleri.aspx>. Accessed: 16-Aug-2015.

About Author (s):



Ramazan Ayaz received the M.Sc. degree in the Department of Electrical Engineering from Yildiz Technical University in 2012, Turkey. He is currently pursuing doctoral study. He is working as a Research Assistant in the Department of Electrical Engineering, Yildiz Technical University.



Asiye Kaymaz received the B.S. degree in Electrical Engineering and Mechanical Engineering from Yildiz Technical University 2014, Turkey. She is currently pursuing master study in Yildiz Technical University.



Hilvan Akca received the M.Sc. degree in the Department of Electrical Engineering from Yildiz Technical University in 2011, Turkey. He is currently pursuing doctoral study. He is working as a Research Assistant in the Department of Electrical Engineering, Yildiz Technical University.



Ali AIDER received the M.Sc. degree in the Department of Electrical Engineering from Yildiz Technical University in 2011, Turkey. He is currently pursuing doctoral study. He is working as a Research Assistant in the Department of Electrical Engineering, Yildiz Technical University.



Adem Unal received the PhD. degree in Electrical Engineering from Yildiz Technical University in Turkey. Now, he is Assistant Professor in Electrical Engineering in Yildiz Technical University. His research areas lighting technologies and circuit theory.



Mugesem Tamircivan received the PhD. degree in Electrical Engineering from Yildiz Technical University in 2000, Turkey. Now, he is Head of Department of Electrical Engineering in Yildiz Technical University, Turkey. His research areas include renewable energy, power system reliability.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Asiye KAYMAZ ÖZCANLI
Doğum Tarihi ve Yeri : 14.02.1988/İstanbul
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : asiyekymz@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Elektrik Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2016
Lisans	Elektrik Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2010
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2010
Lise	Fen Bilimleri	Mehmet Niyazi Altuğ A.L.	2006

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2011-2014	Gürsan Teknik Hizmetler A.Ş.	Elektrik Mühendisi(Satınalma ve Lojistik Bölümü)