

**T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**KENTSEL DIŞ MEKANLARDA
LED AYDINLATMA SİSTEMLERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ ÜZERİNE ÖRNEK BİR
ÇALIŞMA**

Yüksek Lisans Tezi

ABDULLAH KILIÇ

İSTANBUL, 2013

T.C.

BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KENTSEL SİSTEMLER ve ULAŞTIRMA YÖNETİMİ

**KENTSEL DIŞ MEKANLARDA
LED AYDINLATMA SİSTEMLERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ ÜZERİNE ÖRNEK BİR
ÇALIŞMA**

Yüksek Lisans Tezi

ABDULLAH KILIÇ

Tez Danışmanı : DOÇ.DR. GÖKSEL DEMİR

İSTANBUL, 2013

T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA YÖNETİMİ
YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

Tezin Adı : Kentsel Dış Mekanlarda, LED Aydınlatma Sistemlerinin Değerlendirilmesi
Üzerine Örnek bir Çalışma

Öğrencinin Adı Soyadı : Abdullah KILIÇ
Tez Savunma Tarihi : 03/09/2013

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğu Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanmıştır.

Doç.Dr. F.Tunç BOZBURA
Enstitü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğunu onaylarım.

Prof.Dr. Mustafa ILICALI
Program Koordinatörü

Bu tez tarafımızca okunmuş, nitelik ve içerik açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak yeterli görülmüş ve kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmzalar

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Göksel DEMİR

Üye
Doç.Dr. Kurtuluş ÖZCAN

Üye
Yrd.Doç.Dr. Nilgün CAMKESEN

TEŐEKKÜR

Çalışmalarım esnasında bana maddi manevi her aşamada destek olan sevgili hocam ve tez danışmanım Sayın Doç.Dr. Göksele DEMİR'e ve tez çalışmam boyunca yaptığı katkılardan dolayı Sayın Doç.Dr. Kurtuluş ÖZCAN' a;

Aydınlatma armatürü test ölçümlerinde bana yardımcı olan İBB Yeşil Alanlar Tesisler Müdürlüğü Őefi Sayın Ömer ÇAPOĞLU'na,

Pilot mahallede yapmış olduğum çalışmada, verilerin hazırlanması ve güç ölçümlerinde yanımda olan BEDAŞ Beyazıt İşletme Müdürlüğü çalışanlarına ve yöneticilerine,

Yüksek lisans eğitimim boyunca mesai saatlerinde gösterdikleri anlayış için İBB CBS Müdürlüğü idarecilerine ve mesai arkadaşım Adem KARAKAYA'ya,

Ve bugünlere gelmemde asıl büyük öneme sahip biricik annem Azize KILIÇ'a ve babam İdris KILIÇ'a ve de kardeşim Arzu ARDAL'a teőekkürü bir borç bilirim.

Eylül, 2013

Abdullah KILIÇ

ÖZET

KENTSEL DIŞ MEKANLARDA LED AYDINLATMA SİSTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ ÜZERİNE ÖRNEK BİR ÇALIŞMA

Abdullah KILIÇ

Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Göksel DEMİR

Eylül 2013, 81 Sayfa

Her yıl dış aydınlatmada çok büyük enerji harcanmaktadır. Bu maliyetin azaltılması ve enerji verimliliğinin sağlanması için yüksek güçlü LED teknolojileri çözüm olarak görülmektedir. Son 10 yılda hızla gelişen, verimlilikleri laboratuvar ortamında 240 lümen/Watt seviyesine kadar çıkartılan LED teknolojileri, aydınlatma sektöründe konvansiyonel ışık kaynaklarına ciddi şekilde rakip olmuştur.

Günümüzde aydınlatmada en yaygın şekilde kullanılan konvansiyonel ışık kaynakları olan Metal Halide ve Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı sokak lambalarının, yüksek güçlü LED lambalar ile karşılaştırılması gerekliliği doğmuştur. Bu çalışmada, karşılaştırmayı sadece enerji tasarrufu yönünden değil, LED'lerin diğer tüm avantaj/dezavantajları ile incelenmiş olup, LED ve Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı lambaların güç ve aydınlık şiddeti ile ilgili parametrelerin ölçümleri tarafımdan yapılmış, pilot bir mahallede LED dönüşümü çalışması yapılarak sonuçları sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: LED, dış aydınlatma, tasarruf

ABSTRACT

A CASE STUDY ON THE EVALUATION OF LED LIGHTING SYSTEMS FOR URBAN OUTDOOR

Abdullah KILIÇ

Urban Systems and Transportation Management

Thesis Supervisor : Doç.Dr. Göksel DEMİR

September 2013, 81 Pages

Huge amount of energy is consumed for outdoor lighting every year. High powered LED technology is considered as a solution to decrease these costs and provide the energy efficiency. LED technologies, which are drastically developed last 10 years and whose efficiency could increased as much as 240 lumens/Watt in the lab, became remarkably alternatives to the conventional lighting sources.

The necessity to compare the high powered LED lamps with Metal Halide and High Pressure Sodium lamps which are conventional lighting sources in present days came up. In this case study, it is not only the subject of energy saving but also all the other advantages/disadvantages are mentioned. Power and illumiance level of LED and High Pressure Sodium lamps are weighted by me and a case study in a pilot region regarding LED transformation has been made and results are presented.

Keywords: LED, outdoor lighting, saving

İÇİNDEKİLER

TABLolar.....	ix
ŞEKİLLER.....	x
KISALTMALAR.....	xii
SEMBOLLER.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. AYDINLATMA KAVRAMI.....	3
2.1 AYDINLATMA ÇEŞİTLERİ.....	3
2.1.1 İç Aydınlatma.....	3
2.1.2 Dış Aydınlatma.....	3
2.2 DIŞ AYDINLATMANIN TEMEL PRENSİPLERİ.....	4
3. AYDINLATMA İLE İLGİLİ TEMEL TANIMLAR.....	5
3.1 IŞIK.....	5
3.2 IŞIK AKISI.....	5
3.3 IŞIK ŞİDDETİ.....	5
3.4 AYDINLIK ŞİDDETİ.....	6
3.5 RENK SICAKLIĞI.....	6
3.6 RENKSEL GERİVERİM.....	7
3.7 KONTRAST.....	7
3.8 PARILTI.....	7
3.9 KAMAŞMA.....	8
3.10 ETKİNLİK FAKTÖRÜ.....	8
3.11 ARMATÜR.....	8
3.12 BALAST.....	9
4. DIŞ AYDINLATMADA KULLANILAN LAMBA TÜRLERİ.....	10
4.1 YÜKSEK BASINÇLI CİVA BUHARLI LAMBALAR.....	10
4.2 METAL HALOJEN LAMBALAR.....	12
4.3 ALÇAK BASINÇLI SODYUM BUHARLI LAMBALAR.....	15
4.4 YÜKSEK BASINÇLI SODYUM BUHARLI LAMBALAR.....	17
4.5 LED LAMBALAR.....	19
5. LED AYDINLATMA SİSTEMLERİ.....	23

5.1	LED ÇİPİ	24
5.2	LED MODÜLÜ.....	24
5.3	SOĞUTUCU.....	24
5.4	OPTİK LENS (Mercek).....	25
5.5	KONTROL DEVRESİ.....	25
5.6	GÜÇKAYNAĞI VE SÜRÜCÜ DEVRESİ	25
6.	LED LAMBALARIN AVANTAJLARI.....	26
6.1	ENERJİ TASARRUFU.....	26
6.2	UZUN LAMBA ÖMRÜ	28
6.3	RENK KALİTESİ.....	29
6.4	GÖZ SAĞLIĞININ KORUNMASI.....	30
6.5	ISINMA SÜRESİNE İHTİYAÇ OLMAMASI / HIZLI AÇ KAPA.....	30
6.6	KOMPAKT BOYUT	31
6.7	YÖNLÜ IŞIK YAYABİLME	31
6.8	DÜŞÜK IŞIK KİRLİLİĞİ.....	32
6.9	ÇEVRESEL ETKİ	32
6.10	DİMMERLAMA YETENEĞİ	33
6.11	TİTREŞİME DAYANIKLILIK VE KIRILGANLIK.....	34
7.	LED LAMBALARIN DEZAVANTAJLARI.....	35
7.1	KURULUM MONTAJ MALİYETİ.....	35
7.2	ISI DÖNÜŞÜM ORANI.....	35
7.3	BEYAZ IŞIK İÇEREN KONULAR.....	36
7.4	LED MODÜL DİZİLERİNİ KULLANMAK.....	37
8.	LED VE METAL HALİDE SOKAK LAMB. KARŞILAŞTIRILMASI.....	38
8.1	IŞIK KAYNAĞI OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI	38
8.2	OPTİK KARŞILAŞTIRMASI	40
9.	LED VE YÜKSEK BASINÇLI SODYUM BUHARLI LAMBALARIN(HPS) KARŞILAŞTIRILMASI	42
9.1	IŞIK KAYNAĞI OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI.....	42
9.2	IŞIK RENGİ BAKIMINDAN KARŞILAŞTIRMA	44

10. LED VERİMLİLİĞİ İLE İLGİLİ ÖRNEK UYGULAMALAR	46
10.1 TÜRKİYE’DE LED DÖNÜŞÜMÜ YAPILMIŞ ÖRNEK UYGULAMALAR...	46
10.1.1 Ankara İnönü Bulvarı LED Aydınlatma Uygulaması	46
10.1.2 Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Eski Gölcük Yolu LED Uygulaması.....	49
10.1.3 İstanbul AYEDAŞ, Maltepe Toros Caddesi LED Aydınlatma Uygulaması	50
10.2 DÜNYADA LED DÖNÜŞÜMÜ YAPILMIŞ UYGULAMALAR.....	51
10.2.1 Haarlemmermeer (Hollanda) Led Aydınlatma Uygulaması.....	51
10.2.2 North Carolina(ABD), LED Aydınlatma Uygulaması.....	52
11. LED & HPS TEST ÖLÇÜMÜ SONUÇLARI.....	53
12. SOKAK AYDINLATMASINDA LED DÖNÜŞÜMÜ ÖRNEK ÇALIŞMASI.....	59
12.1 ÇALIŞMANIN AMACI.....	59
12.2 ÇALIŞMA SAHASI.....	59
12.2.1 Çalışma Sahasının Seçimi	61
12.2.2 Çalışma Sahasının Durumu	62
12.2.3 Çalışma Sahasından Fotoğraflar.....	63
12.3 KULLANILAN YÖNTEM	64
12.3.1 Direk ve Armatürlerin Sayısı ve Konumu	65
12.3.2 Direk Tipleri	66
12.3.3 Armatür Tipleri	68
12.3.4 Dönüşüm Yapılacak LED Armatür Seçimi.....	69
12.3.5 Armatürlerin Harcadıkları Güç Ölçümü	70
12.4 ENERJİ TASARRUFU	71
12.5 KURULUM MALİYETİ	72
12.6 SİSTEMİN AMORTİ SÜRESİ	73
13. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	74
KAYNAKÇA.....	76
ÖZGEÇMİŞ.....	81

TABLolar

Tablo 3.1: Renk sıcaklığı aralığı tablosu.....	6
Tablo 3.2: Renksel geriverim tablosu	7
Tablo 4.1: Yüksek Basınçlı Civa Buharlı lambanın özellikleri	12
Tablo 4.2: Metal Halojen lambaların özellikleri	14
Tablo 4.3: Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı lambaların özellikleri	16
Tablo 4.4: Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı lamba özellikleri.....	18
Tablo 6.1: LED'lerin, konvansiyonel ışık kaynakları ile karşılaştırılması	27
Tablo 6.2: Işık kaynaklarının etkinlik faktörleri(Işık Verimi)	27
Tablo 6.3: Işık kaynaklarının ömürleri.....	28
Tablo 7.1: Işık kaynaklarının ısı uzaklaştırma mekanizmaları	36
Tablo 8.1: LED, Metal Halide ve Civa Buharlı lambaların karşılaştırması.....	39
Tablo 8.2: LED ve Metal Halide lambaların güç dönüşüm tablosu.....	40
Tablo 9.1: LED ve HPS lambaların karşılaştırma tablosu	43
Tablo 10.1: Mevcut HPS armatür ve dönüştürülecek LED armatürün özellikleri.....	46
Tablo 10.2: Maltepe LED dönüşümü enerji tablosu	50
Tablo 11.1: Ölçüm karşılaştırma tablosu	56
Tablo 12.1: Saraç İshak mahallesi direk tipleri tablosu	67
Tablo 12.2: Eşit aydınlatma şiddeti üretecek LED armatürler tablosu	69
Tablo 12.3: Mevcut ve dönüştürülecek armatürlerin enerji ölçüm sonuçları	70
Tablo 12.4: Sodyum buharlı lambaların tüketmiş olduğu toplam güç.....	71
Tablo 12.5: LED dönüşümü yapıldığında tüketmiş olacağı toplam güç.....	71
Tablo 12.6: LED dönüşümü kurulum maliyeti tablosu.....	72
Tablo 12.7: Yıllık tüketim bedelleri.....	73

ŞEKİLLER

Şekil 3.1: Elektromagnetik dalga ve görünür ışık tayfi.....	5
Şekil 3.2: Renk sıcaklığı skalası.....	6
Şekil 3.3: Dış aydınlatma armatürünün yapısı	9
Şekil 4.1: Yüksek Basınçlı Civa Buharlı lambanın yapısı	10
Şekil 4.2: Yüksek Basınçlı Civa Buharlı lamba.....	11
Şekil 4.3: Metal Halojen lamba yapısı	13
Şekil 4.4: Metal Halojen lamba fotoğrafı.....	14
Şekil 4.5: Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı lambanın yapısı	15
Şekil 4.6: Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı lambanın fotoğrafı	16
Şekil 4.7: Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı lambanın yapısı	17
Şekil 4.8: Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı lamba fotoğrafı	18
Şekil 4.9: LED fotoğrafı.....	19
Şekil 4.10: Yarı iletken LED yapısı	20
Şekil 4.11: Yarı iletken LED.....	21
Şekil 4.12: LED' lere ait renk diyagramı	22
Şekil 5.1: LED paketi kesiti	23
Şekil 6.1: İlişkili renk sıcaklığı	30
Şekil 9.1: HPS sokak lambası(250W).....	45
Şekil 9.2: LED sokak lambası (93W)	45
Şekil 10.1: HPS lambalarla aydınlatılan eski tesisat.....	48
Şekil 10.2: LED dönüşümü yapıldıktan sonra yeni tesisat	48
Şekil 10.3: Dönüşüm yapılmadan önceki hali	49
Şekil 10.4: Dönüşüm yapıldıktan sonraki durum.....	49
Şekil 10.5: Toros caddesi dönüşüm resimleri	50
Şekil 10.6: Aydınlatma projesi.....	51
Şekil 10.7: Haarlemmermeer fotoğrafı	51
Şekil 10.8: North Carolina HPS ve LED armatür ile aydınlatma fotoları	52
Şekil 11.1 İBB Yeşil alan ve Tesisler Yapım Müdürlüğü	53
Şekil 11.2: Ölçümü yapılacak LED armatürün fotoğrafı.....	54

Şekil 11.3: Ölçümü yapılacak HPS armatürün fotoğrafı	54
Şekil 11.4: Lüksmetre ve Network Analizör cihazları	55
Şekil 11.5: Işık şiddetinin ölçülmesi	55
Şekil 11.6: Ölçüm sahasında çekilen fotoğraflar	58
Şekil 12.1: İstanbul Fatih ilçesi sınırları	60
Şekil 12.2: Fatih ilçesine bağlı Saraç İshak mahallesi sınırları.....	60
Şekil 12.3: Çalışma sahasının aydınlatma armatürlerinin durumu	62
Şekil 12.4: Saraç İshak mahallesinden fotoğraflar.....	63
Şekil 12.5: Saraç İshak mahallesi aydınlatma direk yerleri	66
Şekil 12.6: Saraç İshak Mahallesi direk tipleri haritası.....	67
Şekil 12.7: Direk tipleri.....	68
Şekil 12.8: Dönüşüm için seçilen LED armatür.....	69
Şekil 12.9: Network Analizör cihazı.....	70

KISALTMALAR

AB	:	Avrupa Birliği
ABD	:	Amerika Birleşik Devletleri
AYEDAŞ	:	Anadolu Yakası Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
BEDAŞ	:	Boğaziçi Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
CIE	:	Uluslararası Aydınlatma Komisyonu
HID	:	Yüksek Yoğunluklu Deşarj Lambaları
HPS	:	Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba
İBB	:	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
LED	:	Işık Yayan Diyot (Light Emiting Diode)
LOR	:	Armatür Verimi (Light Output Ratio)
RGB	:	Red Green Blue (Kırmızı Yeşil Mavi)
TEDAŞ	:	Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
UV	:	Morötesi Işın (Ultraviolet)

SEMBOLLER

Aydınlık düzeyi	: E
Renk sıcaklığı	: T
Işık kaynağı için sıcaklık birimi(Kelvin)	: K
Işık akısı	: Φ
Parıltı kontrastı	: C
Parıltı değeri	: L
Renksel Geriverim	: Ra

1. GİRİŞ

Teknolojinin ortaya koyduğu en büyük gelişmelerden biri olan ampulün icadının üzerinden 1,5 asırdan fazla bir zaman geçti. Artık günümüzde aydınlatma hayatın her noktasında; evlerde, binalarda, şehir aydınlatmalarda vazgeçilmez bir unsur haline gelmiştir. İletken telin üzerinden akımın geçmesi ve telin ısınarak ışığa dönüşmesi sonucu kullanılan akkor flaman ampuller, elde edilen ışığın sadece yüzde 17'sini görünür ışığa dönüştürmekte geriye kalan kısmını ise kızılötesi ışınlar olarak ortama vermektedirler. İşte ampullerin verimliliğinin düşük olması ve ihtiyaçları karşılayamaması yeni teknolojilerin geliştirilmesinin önünü açmıştır.

1930'lu yıllarda Flüoresan lambanın ilk ışması gerçekleşmiştir. Çalışması, temelde bir ark lambasında alçak basınçlı civa buharının deşarjı ile oluşturulan morötesi ışınımın, flüoresan etkili fosforik yüzeye temas ederek görülür ışık oluşturması prensibine dayanmaktadır. Yine kentsel dış aydınlatmalarda Metal Halojen Lambalar ve Sodyum Buharlı Lambalar kullanılmaya başlanmıştır. Bu lambaların çalışma prensipleri de Flüoresan lambalarla temelde aynıdır.

Dünyada ve ülkemizde Metal Halojen (MH) ve Sodyum Buharlı (HPS) lambalar şehir aydınlatma sistemlerinde yıllardır kullanılmaktadır. Ancak bu tip lambaların yapısında Civa, Argon ve diğer zararlı kimyasal gazların bulunması çevresel olarak büyük riskler oluşturmaktadır.

Bunun yanında yine tüketilen enerjiye oranla elde edilen ışık enerjisi istenilen düzeyde olmaması, son yıllarda büyük gelişim gösteren elektronik komponentlerden olan Işık Yayan Diyot (LED) 'un kent aydınlatmada da kullanılabileceği fikrini ortaya koymuştur.

İlk kullanımı daha eskilere dayansa da LED'lerin elektronik sanayisinin vazgeçilmezi haline gelmesi 1960'lı yıllarda olmuştur. Yarı iletken özelliği sayesinde düşük voltajlarda yüksek ışınım sağlayabilen LED'ler bugün hemen her elektronik cihazda kullanılmaktadır. Mikro seviyede LED televizyonlarda kullanılırken makro seviyelerde ise şehir aydınlatmalarda kullanılması için tasarlanmış ve bu konuda da birincil öge olacağı anlaşılmıştır.

Yapısında zararlı kimyasal bulunmaması, çevresel yönden; düşük güç harcaması, enerji verimliliği ve tasarrufu yönünden en büyük avantajlarıdır. Özellikle diğer basınçlı lambalara göre yüzde 50 ile yüzde 80 aralığında enerji tasarrufu sağlamaktadırlar. Dünyada da bununla ilgili birçok karşılaştırmalı araştırma ve uygulama çalışmaları yapılmıştır.

Bu çalışmada da dünyada yavaş yavaş şehir aydınlatmada söz sahibi olan ve ülkemizde de birkaç uygulama ile başlangıç yapılan LED teknolojisinin incelenmesi, diğer kullanılan aydınlatma sistemleriyle karşılaştırılması, dünyada ve Türkiye’de yapılan uygulamaların incelenmesi, 108 Watt değerinde LED armatür ile 250 Watt ve 400 Watt değerlerinde HPS armatürlerin uygulamalı olarak başta aydınlatma şiddetleri ve harcanan aktif güç değerleri olmak üzere birçok parametrelerin ölçümü gerçekleştirilmiş ve son olarak da, tamamen Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı lambalarla aydınlatılan pilot bir mahalle seçilerek, LED dönüşüm uygulaması sonucunda; Enerji tasarrufu oranı, kurulum maliyetleri ve sistemin kendini amorti etme süresi hesaplanarak, dönüşümün analizi gerçekleştirilmiştir.

2. AYDINLATMA KAVRAMI

1913 yılında kurulan Uluslararası Aydınlatma Komisyonu(CIE) aydınlatmayı, “nesnelerin ve çevrelerinin görülebilmesi için, ışık uygulamaktır” şeklinde tanımlamıştır. Tanımdan da anlaşılacağı üzere aydınlatma, bir nesneyi ışıklı reklam panoları gibi ışıklandırmak değil de, bu nesnenin ve çevresinin ışık kaynağına maruz bırakılarak görünebilmesini sağlamaktır.

2.1 AYDINLATMA ÇEŞİTLERİ

Aydınlatma fiziksel mekanın durumuna göre, iç aydınlatma ve dış aydınlatma olarak ikiye ayrılmaktadır.

2.1.1 İç Aydınlatma

Dış çevreden ayrılmış, kapalı mekanların aydınlatılmasına iç aydınlatma denir. İç aydınlatmaya örnek olarak, oturma odası, çocuk odası, banyo, kütüphane, okul, hastane, sinema, depo, müze, işyerleri vb. alanların aydınlatılması verilebilir.

2.1.2 Dış Aydınlatma

Kapalı mekanların dışı, yani açık alanların aydınlatılmasına dış aydınlatma denir. Asıl amacı güvenlik olan dış aydınlatma genel olarak sokakların aydınlatması ve park alanlarının aydınlatılması gibi alanları konu olsa da, özellikle son yıllarda estetik duygulara hitap edecek şekilde, tarihi mekan, anıt vb. alanlarda da uygulanmaktadır.

Yollar, park ve bahçeler, meydanlar, otoparklar, duraklar, tarihi mekanlar, anıtlar ve benzerleri dış aydınlatmanın uygulama alanlarıdır.

2.2 DIŞ AYDINLATMANIN TEMEL PRENSİPLERİ

Aydınlatmadan maksimum seviyede yararlanılabilmesi için yaŐanılan ortamda gerekli güvenliğin temini ön planda tutularak gereken enerji tasarrufunun sağlanabilmesi ve ışık kirliliğinin önlenmesi için de tasarımdan kullanıma kadar tüm safhalarda uyulması gereken temel prensipler aşağıda sıralanmıŐtır (Yavuz 2004).

a) İlgili standartlar ve Uluslararası Aydınlatma Komisyonu'nun yayınları da takip edilerek aydınlatılacak yere ve amaca uygun optimum çözümin elde edilebileceği aydınlatma kriterlerinin belirlenmesi,

b) Fotometrik ve teknik özellikleri bilinen armatürler ile gerekli tasarım hesaplarının yapılması, sadece aydınlatılacak alana ışık gönderen armatür tip ve sayılarının saptanması

c) Aydınlık Şiddeti algılayıcı ve/veya zaman kontrollü tesisat ile aydınlanmanın gerek duyulan zamanlarda gerektiği ölçüde yapılmasının sağlanması (TUG 2001)

Yukarıdaki üç temel prensibe gösterilecek uyum, enerji israfını minimum düzeye indirmeye yardımcı olacak, dünyamızın doğal kaynaklarının tüketimi en aza indirecek ve ülke ekonomilerine önemli katkıda bulunacaktır (Yavuz 2004).

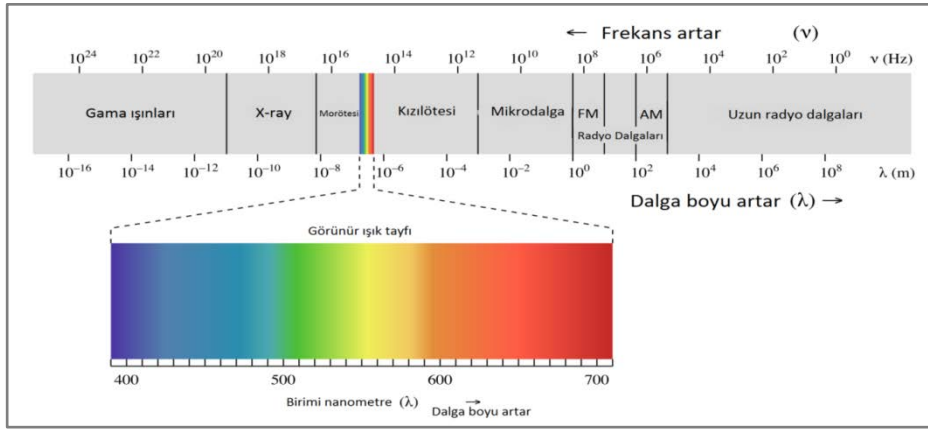
3. AYDINLATMA İLE İLGİLİ TEMEL TANIMLAR

3.1 IŞIK

Işık kaynağından çıkan bir ışımının, cisimlere çarparak veya direkt olarak yansımaları sonucu canlıların görmesini sağlayan bir enerji şeklidir. Kısaca, ortamdaki cisimleri görmemize ve renkleri ayırt etmemize yarayan enerji şeklidir de diyebiliriz.

Görünür ışık, dalga boyu 360 ile 830 nm arasındaki elektromanyetik ışınım olup, saniyede 300 bin kilometre hızla hareket etmektedir.

Şekil 3.1: Elektromagnetik dalga ve görünür ışık tayfı



Kaynak: Wikipedia 2012

3.2 IŞIK AKISI

Işık akısı, bir aydınlatma kaynağından çıkan toplam ışık gücünü ifade eder. Kaynaktan, uzay alanda her yöne yayılan ışık miktarı olarak da tanımlanmaktadır. Birimi lümen'dir.(lm)

3.3 IŞIK ŞİDDETİ

Noktasal bir ışık kaynağından, belli bir yönde yayılan ışığın yoğunluğu, ışık şiddeti olarak tanımlanır. Birimi Candela'dır.(cd)

3.4 AYDINLIK ŞİDDETİ

Aydınlık şiddeti (E), birim yüzeye düşen ışık akısı toplamıdır. Birimi lüks'tür.(lx)

1 lümen değerindeki ışık akısının 1 m² yüzeye eşit olarak düşmesi durumunda 1 lüks aydınlık şiddeti değeri elde edilmiş olur.

3.5 RENK SICAKLIĞI

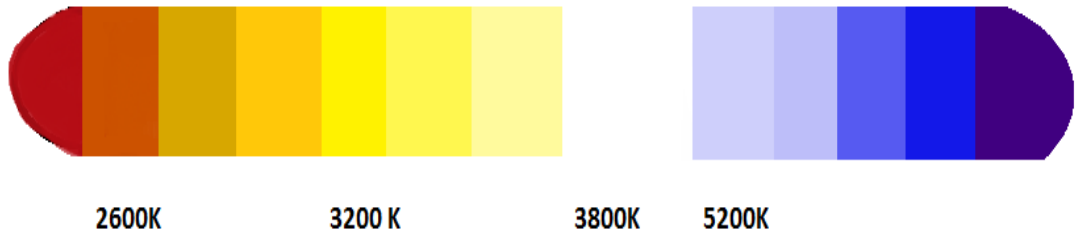
Birimi Kelvin (°K) olarak kabul edilen Renk Sıcaklığı; siyah renkteki bir kütle için, belirlenmiş başka renkte bir ışık elde edilmesi amacıyla ısıtılması gereken sıcaklıktır. Bu çerçevede Mavi renk tonları Yüksek Renk sıcaklığını, Kırmızı-Sarı renk tonları ise Düşük renk sıcaklığını ifade etmektedir. Renk sıcaklığının insanı ruhsal yönden etkilediği düşünülerek aydınlatma yapılacak mekanın özellikleri ve işlevine uygun yönde renk sıcaklığı seçilmelidir. Ayrıca 5000-6500 °K değerlerinin gün ışığına tekabül ettiği bilinerek 3000 °K gibi düşük sıcaklıklar, sıcak ışık; 8000 °K değerleri ise soğuk ışık olarak tabir edilmektedir.

Tablo 3.1: Renk sıcaklığı aralığı tablosu

Sıcak Beyaz (WW)	2000K	3500K
Doğal Beyaz (NW)	3500K	4500K
Soğuk Beyaz (CW)	4500K	10000K

Kaynak: LED 2013

Şekil 3.2: Renk sıcaklığı skalası



Kaynak: Çetin ve diğ. 2013

3.6 RENKSEL GERİVERİM

Bir ışık kaynağının, bir cisimi gerçek renginde gösterebilme yeteneği olarak tanımlanan Renksel Geriverim'in özellikleri; ışık kaynağının gün ışığındaki gibi renk algılamasının hassas olabilmesi için son derece önemlidir. Bu özellikler "Genel Renksel Geriverim Endeksi"nde Ra olarak ifade edilirler. Ra değerinin optimal değeri 100 olup değer azalmasıyla renklerin doğru algılanması da azalacaktır.

Tablo 3.2: Renksel geriverim tablosu

KADEME		RENKSEL GERİVERİM
1A	Çok iyi	$Ra > 90$
1B	Çok iyi	$80 < Ra < 90$
2A	İyi	$70 < Ra < 80$
2B	İyi	$60 < Ra < 70$
3	Çok iyi değil	$40 < Ra < 60$
4	İyi değil	$20 < Ra < 40$

Kaynak: Renksel Geriverim 2013

3.7 KONTRAST

Kontrast, bir görüntüdeki en parlak olan bölüm ile en karanlık bölüm arasındaki fark olarak tanımlanır. Eğer bir ekran 100 cd/m^2 'lik bir parlak beyaz ölçümüne ve 1 cd/m^2 'lik bir siyah ölçümüne sahipse kontrast 100:1 olarak ifade edilir. Siyah ve beyaz arasındaki kontrast aralığı genişledikçe iki uç arasındaki gri tonlar ya da ara seviye renk tonları daha rahat ortaya çıkar. Renk tonları ne kadar fazla olursa görüntünün canlılığı gerçeğe daha yakın görünür.

3.8 PARILTI

Kaynağından yayılan ışığın aşırı derecede yüksek olması veya direkt olarak göze gelerek rahatsız edici bir etki yaratmasına parıltı denir. Parıltı görsel olarak gürültüyü

ifade etmektedir. İnsan gözünü rahatsız ederek kamaşmasına neden olur. Parlıltı gözün yüksek parlaklığa adapte olması sonucunda normal aydınlatılmış bir yüzeyi görememesine neden olur. Birim Nit(cd/m²) dir (Erdem 2007).

3.9 KAMAŞMA

Parıltının aşırı derecede yüksek olmasına veya ışık kaynağından yayılan ışınımın direk olarak göz tarafından rahatsız edici olarak algılanmasına kamaşma denir. Kısaca parıltı değerin gözü rahatsız edecek duruma gelmesidir.

3.10 ETKİNLİK FAKTÖRÜ

Bir ışık kaynağının 1W güçle oluşturduğu ışık akısına etkinlik faktörü denir. Etkinlik faktörü, ışık verimi veya aydınlatma verimi diye isimlerle de nitelendirilmektedir. Simgesi η ile ifade edilir. Birimi Lümen/Watt (lm/W)'tır

Etkinlik faktörü (ışık verimi veya aydınlatma verimi), bir ışık kaynağının yaydığı görünür ışığın ne derece iyi olduğunu gösteren fiziksel bir niceliktir. Işık akısının güce oranı olarak ifade edilir. Bazı ışık kaynaklarının ortalama etkinlik faktörleri (ışık verimleri veya aydınlatma verimleri) aşağıdaki gibidir (Etkinlik Faktörü 2013);

- i. Akkor flamanlı: 10-20 lm/W
- ii. Floresan: 50-100 lm/W
- iii. Metal Halide : 75-125 lm/W
- iv. SMD LED: 15-45 lm/W
- v. Power LED: 50-120 lm/W
- vi. COB LED: 100-150 lm/W

3.11 ARMATÜR

Armatürler, sadece lambaların takıldığı bir duy değil, lambanın muhafaza edilip korunduğu, tesisat bağlantılarının bulunduğu, en önemlisi de ışığın filtre edilebildiği,

değiştirilebildiği ya da yayılmasının kontrol edilebildiği kompleks bir cihazdır. Bina ve yol aydınlatmalarında kullanılan harici ve iç mekanlarda kullanılan dahili tipi olmaktadır.

Şekil 3.3: Dış aydınlatma armatürünün yapısı



Kaynak: MEGEP 2007

3.12 BALAST

Balastlar, civa buharlı ve sodyum buharlı lambalardaki gibi içerisindeki kimyasal maddeyi ısıtan flamanların kısa devre olmasını ve yüksek akım çekilmesini engelleyerek sistemin dengeli çalışmasını sağlar. İki tür balast vardır:

- Elektronik Balast: Aralıksız çalışmalar için ideal olup sürekli ışık verebilmesi, düşük enerji sarfiyatı, ısınma probleminin olmaması en önemli avantajlarıdır.
- Ayarlanabilir Balast: Sık yanıp söndürme kullanımları için uygundur Işık verme süresi uzundur. Enerji tüketimi fazla olup ısınma sorunu vardır (Balast 2013).

4. DIŞ AYDINLATMADA KULLANILAN LAMBA TÜRLERİ

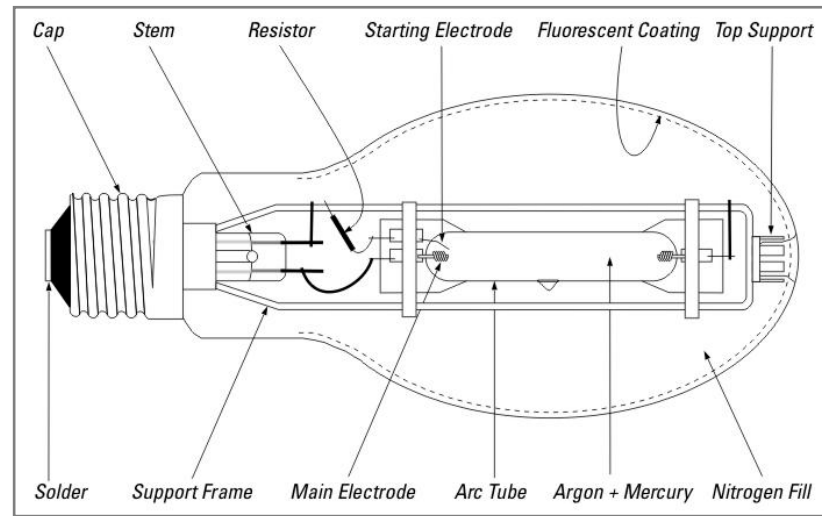
4.1 YÜKSEK BASINÇLI CİVA BUHARLI LAMBALAR

Yüksek basınçlı cıva buharlı lambalarda üretilen ışığın büyük bir kısmı cıva buharının ışınımı ile oluşmaktadır. Lamba içerisinde basıncın 100.000 Paskal gibi yüksek bir değere sahip olmasından dolayı, bu lambalara yüksek basınçlı cıva buharlı lambalar denmektedir (Karaaslan 2012).

Etkinlik faktörü 50 lm/W seviyelerindedir. Güçleri ise 50-1000 Watt arasında değişmektedir.

Şekil 4.1’de kesiti görülen yüksek basınçlı cıva buharlı lambalarda, çift elektrotlu deşarj tüpü mevcuttur. Deşarj tüpünün içinde ise cıva buharı ve argon vardır. Ampul çalışırken elektrotların bulunduğu hazne mavi ve ultraviyole ışık yayar. Yayılan ultraviyole ışınlar, floresan madde ile kaplanmış camın iç yüzeyine çarparak, görünür ışın yayılmasına sebep olurlar. Özellikle beyaz giysilerin bu ampulün altında parlak bir görünümünün olması ultraviyole ışınlardan kaynaklanmaktadır(MEB 2010).

Şekil 4.1: Yüksek Basınçlı Cıva Buharlı lambanın yapısı



Kaynak: lamptech 2013a

Beyaz ışık üreten Yüksek basınçlı civa buharlı lambalar, genellikle park, bahçe aydınlatmasında kullanılmaktadır. Sanayide ve dış aydınlatmada da kullanılan civa buharlı lambaların dikkatten kaçan önemli bir verimsizlik parametresi vardır. Ürettiği ışık kaynağının şiddetine karşın harcadığı enerji miktarı çok fazla olduğundan dolayı son yıllarda bu tip lambaların yerine, metal halojen lambalar kullanılmaktadır. Metal halojen lambalar, civa buharlı lambalara göre daha az enerji harcayarak, aynı aydınlatma şiddetini sağlarlar veya aynı miktarda enerji harcayarak daha fazla aydınlatma sağlamaktadırlar (Kaya 2009).

Şekil 4.2: Yüksek Basınçlı Civa Buharlı lamba



Yüksek basınçlı civa buharlı lambaların ömürleri 15000-25000 saat arasında değişmektedir. Çalışma esnasında tekrar devreye girebilmeleri için iç basınçlarının düşmesi gerekir. Yardımcı eleman olarak balast kullanılır. Elektronik balast kullanılmadığı takdirde bu lambanın kullanıldığı yerlerde stroboskopik etki görülür. (Çetin ve diğ. 2013)

Bu lambaların etkinlik faktörleri düşük ve sodyum buharlı lambalara göre ömürleri daha az olduğu için, TEDAS Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lambalar Şartnamesi ile Türkiye’de yol aydınlatmalarında yüksek basınçlı civa buharlı lambaların kullanılması yasaklanmıştır (TEDAŞ 2006).

Tablo 4.1: Yüksek Basınçlı Civa Buharlı lambanın özellikleri

AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
Ömürleri 15000 – 25000 saattir.	Etkinlik faktörü düşüktür
Her konumda yanabilir.	Yardımcı araçlara gereksinim duyulur. (balast)
Ateşleyiciye ihtiyaç duymaz	Kuruluş masrafı fazladır.
Isı değişimlerine ve gerilim yükselmelerine karşı dayanıklıdır.	Kırmızıya dönük renkleri iyi göstermez..
Verdiği ışığa karşın lamba boyutu büyük değildir	Yanma süresi uzundur. (4-5 dakika sonra ısındığında tam ışığını verir.)
Kullanımı ucuzdur.	Yeniden yanması için hızla soğuması gerekmektedir. Yaklaşık beş dakika sonra yanmaktadır. İş kaybına neden olur.
Sarsıntıya ve darbelere dayanıklıdır.	Renksel geri verimleri yeterince iyi değildir.

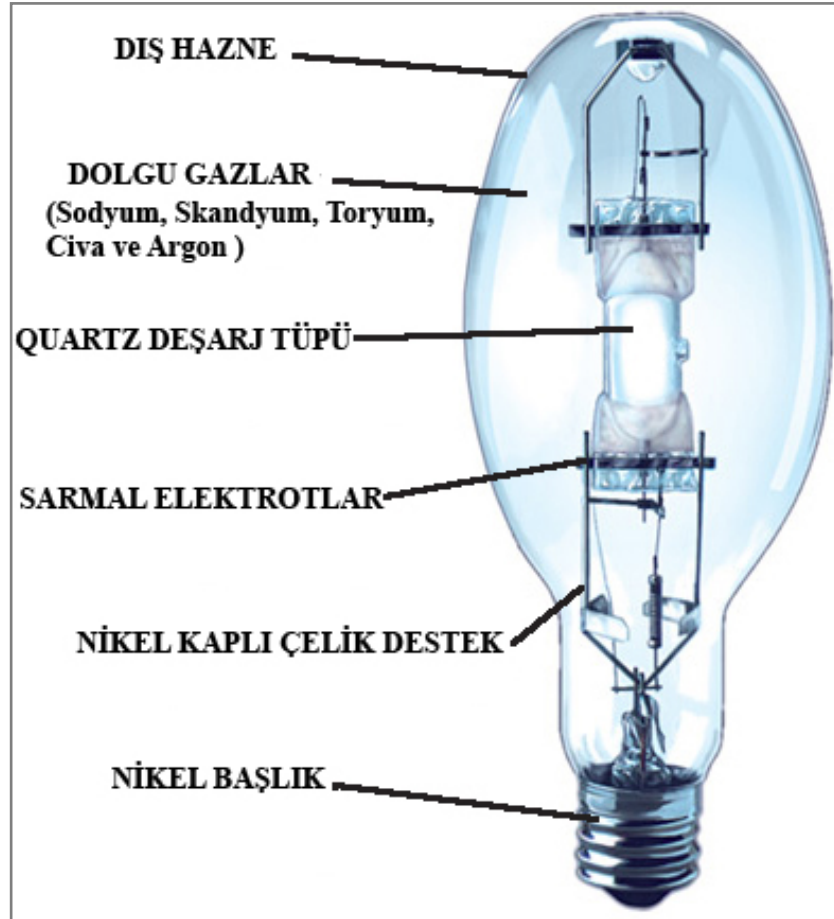
4.2 METAL HALOJEN LAMBALAR

1960’lı yıllarda üretilmeye başlanan Metal Halojen lambalar, Metal Halide lamba olarak da isimlendirilmektedirler. Metal Halojen lambalara civa buharlı bazı tuzlar eklenerek renksel geriverimi yükseltilmiştir.

Etkinlik faktörleri 80 lm/W civarında ve renksel geriverimi iyi olan Metal Halojen lambalar, özel amaçlı aydınlatmalar için de çok uygun özelliklere sahiptir. Ömürleri kısa olmalarına karşın bu lambalar, özellikle renklerin belirgin olması istendiği

ortamlarda, spor sahalarında ve beyaz rengin vurgulanmak istendiği bina dış cephelerinin aydınlatılması gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Kaya 2009).

şekil 4.3: Metal Halojen lamba yapısı



Kaynak: MEGEP 2007

Metal Halojen lambalarda, civa buharı ve argona ilave olarak indiyum, talyum, sodyum gibi metal halojenler bulunmaktadır. Lamba alışma sıcaklığına ulaştığında metal halojenler buharlaşır. Halojen buharı deşarj yüksek sıcaklık eşiğine ulaştığında, halojen ve metal ayrılır, metal molekülleri kendi spektrumlarını yayar. Metal ve halojenler difüzyon ve konveksiyonla deşarj tüpünün daha soğuk kısımlarına, özellikle dış duvarlara hareket ederek, çevrimi yeniden başlatmak üzere birleşirler (Karaaslan 2012).

Şekil 4.4: Metal Halojen lamba fotoğrafı



1980’li yıllardan itibaren, iç mekanlarda da kullanılmaya başlanan Metal Halojen lambalar; mağaza, vitrin ve müze aydınlatmaları, büyük meydanların aydınlatılması, tarihi eserlerin ve bina yüzeylerinin projektör ile aydınlatılması uygulamaları, spor sahalarının aydınlatılması, inşaat alanlarının aydınlatılması, endüstriyel sergi alanlarının ve hipermarketlerin aydınlatılması, yüksekliği fazla olan ve üstü kısmen kapalı alanların aydınlatılması vb. yerlerde kullanılmaktadır.

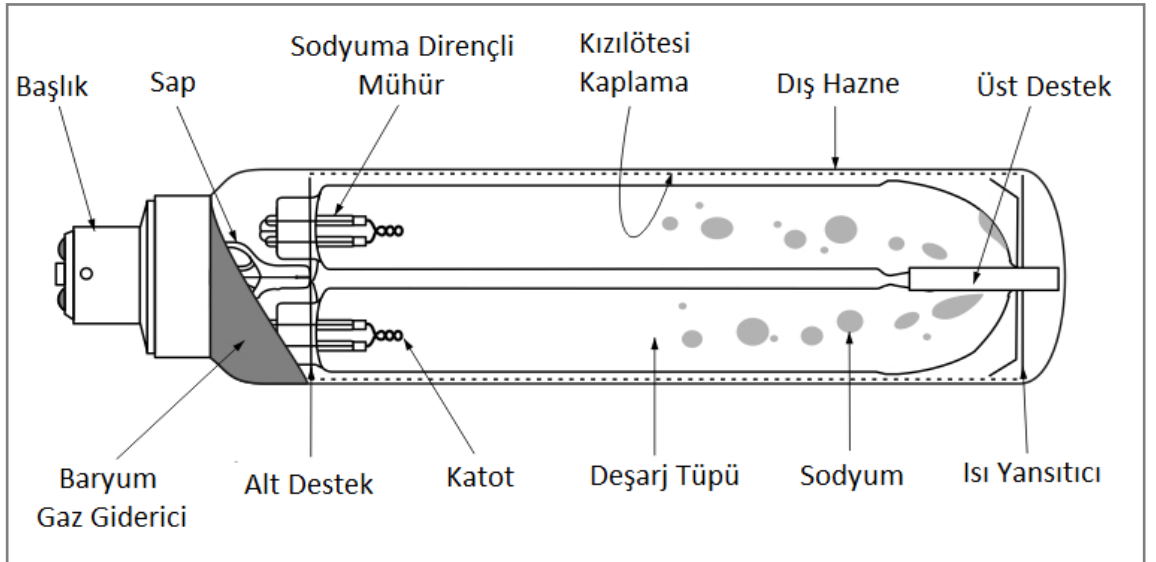
Tablo 4.2: Metal Halojen lambaların özellikleri

AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
Ömrü uzundur.	Gerilim dalgalanmalarına karşı hassastır.
Etkinlik faktörü büyüktür	Dimmerlenmeye uygun değildir.
Renk geriverimi yüksektir	Kuruluş masrafı fazladır.

4.3 ALÇAK BASINÇLI SODYUM BUHARLI LAMBALAR

Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar, ticari olarak ilk defa 1932 yılında kullanılmaya başlandıklarından itibaren, en verimli lamba olma özelliğini korumaktadırlar. Lambanın yapısında bulunan sodyumun, ışık spektrumundan dolayı, sarı-turuncu ışık verirler. Lambayı verimli kılan da bu tek renkli (monokromatik) ışıktır. Alçak basınçlı sodyum buharlı lambaların sarı-turuncu renk vermesinden dolayı, renkleri ayırt etmek zor olacağından, renksel geriverimi düşüktür. Bu yüzden genelde, dış mekanların aydınlatılmasında, sokak ve caddelerin aydınlatılmasında yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Eğer renkten çok, görüş alanının aydınlatılmasının önemli olduğu, havaalanı, askeri bölge, tünel ve fabrika çevresi gibi geniş alanların aydınlatılmasında tercih edilir. Ayrıca tek renkli ışığı, dolayısıyla hareketi algılamaya daha elverişli olduğundan dolayı güvenlik uygulamalarında ve ışığın filtre edilerek yok edilmesi kolay olduğundan dolayı da gözlemevlerinin etrafındaki yerleşim yerlerinde kullanılmaktadırlar (Karaaslan 2012) .

Şekil 4.5: Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı lambanın yapısı



Kaynak: Lamptech 2013b

Alçak basınçlı sodyum buharlı lambaların, etkinlik katsayıları 100-192 lm/W aralığında olup etkinlik değerleri en yüksek lambalardır. Bu lambalar elektronik balast ile kullanılmaz ise stroboskopik etki (Göz yanılması) görülebilmektedir. Ömürleri 16000 saat olan alçak basınç sodyum buharlı lambaların renksel geriverimi ise en düşük seviyededir. Trafo ve kondansatör gibi çevre elemanlara gereksinimi yoktur.

Şekil 4.6: Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı lambanın fotoğrafı



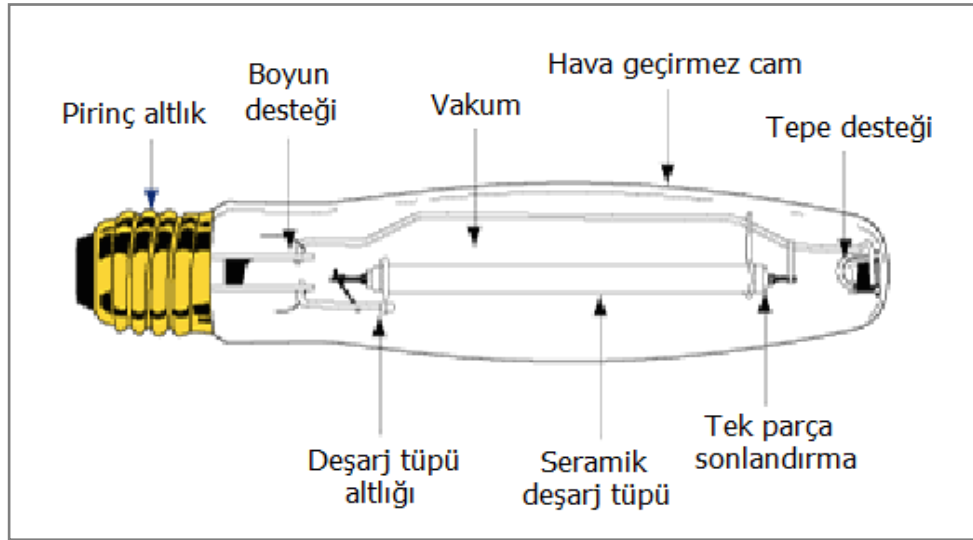
Tablo 4.3: Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı lambaların özellikleri

AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
Işık verimi en yüksek olan lambalardır.(100-192 lm/W)	Renksel geri verimleri en kötü olan lambadır.
Geniş alanlarda kullanıma elverişli güçtedir.	Bu lambaların kullanıldığı yerlerde stroboskopik etki görülebilir
16000 saat ömrü vardır.	Lambanın içindeki Sodyum havayla temas ettiğinde yanıcı bir maddedir.

4.4 YÜKSEK BASINÇLI SODYUM BUHARLI LAMBALAR

Ticari olarak 1964 yılından bu yana dış mekanların aydınlatılmasında kullanılan yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar, dünyada en çok kullanılan sokak lambalarıdır. Yapılarında sodyum bulunması nedeniyle yüksek verimliliğe sahiptirler. Renksel geriverimleri alçak basınçlı sodyum buharlı lambalardan daha iyi olmalarına karşın, verimlilikleri bu lambalara göre biraz daha düşüktür.

Şekil 4.7: Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı lambanın yapısı



Kaynak: (Karaaslan 2012)

Daha yeni bir teknolojiye sahip olan Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalarda, deşarj tüpünün basıncı artırılarak ve karışıma civa eklenerek alçak basınçlı sodyum buharlı lambalarda oldukça dar olan ışık spektrumu genişletilmiştir. Bu durum renk kalitesini iyileştirmiş olsa da gözün görebileceği bölgenin dışındaki ışıkların da üretilmesine neden olmuştur. Bu da aydınlatma tekniği açısından ışık kaynağının verimini düşüren bir durumdur. Buna rağmen yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların verimi diğer pek çok ışık kaynağından daha yüksektir. Farklı güç ve çeşitteki yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların verimleri 80 ila 140 lümen/Watt arasında değişmektedir, ortalama verimleri 130 lümen/Watt civarındadır (Karaaslan 2012).

Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların kullanım alanları, alçak basınçlı sodyum buharlı lambalarınkilere benzerdir. Bu tip lambalar da özellikle dış aydınlatmada kullanılırlar. Sokak, otoyol, tünel, spor sahaları park ve bahçe aydınlatmasında tercih edilirler.

Şekil 4.8: Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı lamba fotoğrafı



35W'tan 1000W'a kadar çeşitleri bulunan bu lambaların kullanım ömürleri, alçak basınçlı sodyum buharlı lambalara göre daha uzundur ve 24 000 saate kadar çıkabilir; Ortalama ömürleri 20 000 saattir.

Tablo 4.4: Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı lamba özellikleri

AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
Verimleri yüksektir. Yenileme yoluna gidilirse civa buharlı lamba uygulamalarının yerini rahatlıkla alabilir.	Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar kadar olmasa da renksel geriverimleri yine de kötüdür (metal halojen ve halojen lambalardan daha kötüdür.)
Lamba ömrü alçak basınçlı sodyum buharlı lambalardan daha uzundur.	Sodyumun yanında civa da içerdiğinden, ömürlerinin sonuna gelindiğinde bertaraf edilmeleri, alçak basınçlı sodyum buharlı lambalarınkinden daha zahmetlidir.
Floresan veya alçak basınçlı sodyum buharlı lambalardan daha küçüktür; pek çok bağlantı tipine uyum gösterir.	52-100V'luk düşük bir ark geriliminden sorumlu olan ve dolayısıyla da bir miktar güç kaybına sebep olan bir balast (verimsiz) ile kullanılırlar. Bu da tüm sistem düşünüldüğünde lambanın gerçek veriminin düşmesine neden olan bir durumdur.

4.5 LED LAMBALAR

Yarı iletken ışık kaynağı olma özelliğine sahip olan LED (Light Emitting Diode–Işık Yayan Diyot)’ler, belli bir voltaj değerinden itibaren bünyesindeki elektronların hareketlenmesiyle ışık yayarlar. Buna “elektroluminans” ya da “elektroışınım” denir. İlk kez 1907’de İngiliz bilim adamı H.J. Round tarafından keşfedilen LED, 1962’de “General Electric”de çalışan Nick Holonyak Jr. tarafından geliştirilmiştir. Önceleri akkor ve neon gösterge lambası olarak test ortamlarında kullanılan LED lambalar günümüzde hayatın her noktasında yer almaktadır. Televizyonlar, radyolar, hesap makineleri vb. cihazlarda yaygın olarak yer almaktadır (Led ışık kaynakları 2007).

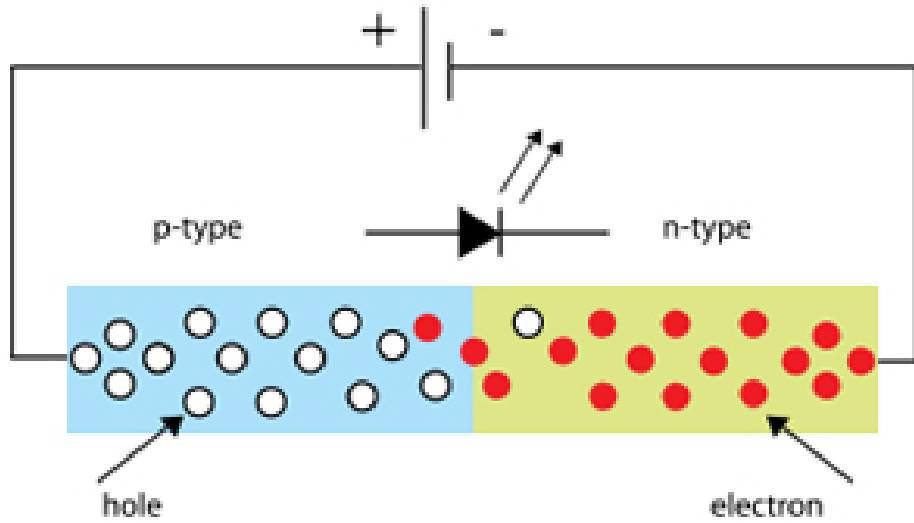
Şekil 4.9: LED fotoğrafı



LED lambalar, malzeme teknolojisindeki gelişmeye bağlı olarak her gün biraz daha geliştirilerek, aydınlatma sektöründe yerini almıştır. Yüksek güçlü beyaz ışıklı LED’in araştırılması ve geliştirilmesi LED’lerin aydınlatma alanında da kullanılmasını mümkün kılmıştır. Çok düşük enerji sarfiyatları, yüksek ışık verimliliği, uzun ömürleri, minimal boyutları, geniş renk yelpazesi, farklı renk sıcaklıkları gibi birçok özelliğiyle yakın bir zamanda geleneksel aydınlatma sistemlerini geride bırakacak oldukça geniş uygulama alanına sahip olan bir teknolojidir (Karaaslan 2012).

LED'leri çalışma prensibi olarak incelediğimizde; Doğru yönde bir gerilim uygulandığında, Şekil 4.10'a göre kırmızıyla gösterilmiş olan elektronların karşı taraftaki beyaz renkle gösterilmiş olan boşluklara hareketiyle birlikte açığa çıkan enerjinin, çip çerisindeki kimyasallar etkisiyle foton adı verilen ışık kaynağına dönüşmesi işidir (Ledler Nasıl Çalışır 2013).

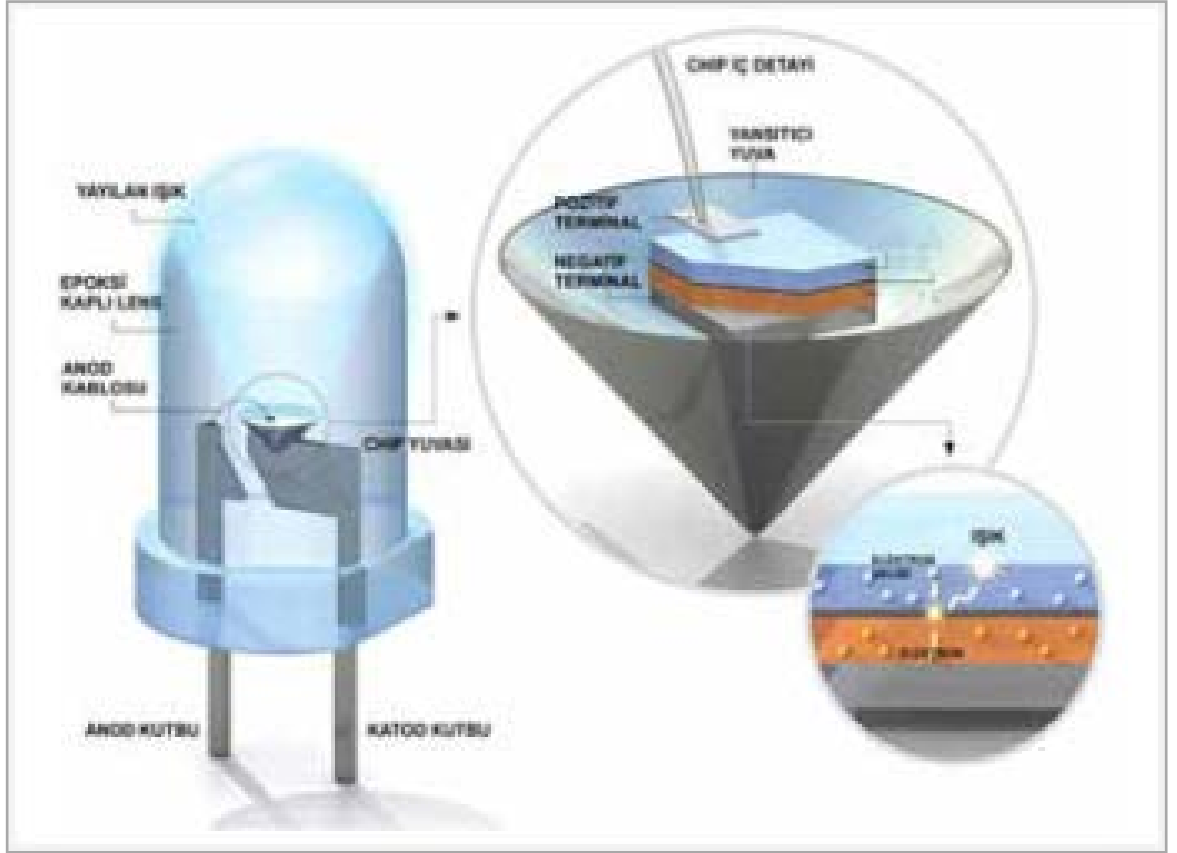
Şekil 4.10: Yarı iletken LED yapısı



Kaynak: Ledler Nasıl Çalışır 2013

LED'lerin yaydığı ışığın renginin ayarlanması için yapısında bulunan yarı iletken maddelere Galyum(Ga), Arsenit(As), Alüminyum(Al), Fosfat(P), İndiyum(İn), Nitrit(N) gibi kimyasalların belli oranlarda katılması gerekmektedir.(GaAlAs, GaAs, GaAsP, GaP, InGaAlP, SiC, GaN). Böylece istenen dalga boyunda ışımaya sağlanabilir. Örnek olarak kırmızı renk (660nm) için GaAlAs, sarı renk (595nm) için InGaAlP, yeşil renk (565nm) için GaP, mavi renk (430nm) için GaN kullanılır. LED'lerin katalog bilgilerinde yayılan ışığın dalga boyu değerleri de yer almaktadır. Aynı renkteki LED'lerin dalga boyları da farklı olabilmektedir. Örneğin InGaAlP katkılı LED 640nm dalga boyunda; GaAlAs katkılı LED 660nm dalga boyunda; GaP katkılı LED ise 700nm dalga boyunda kırmızı ışık yayar (LED sistemleri 2013).

Şekil 4.11: Yarı iletken LED



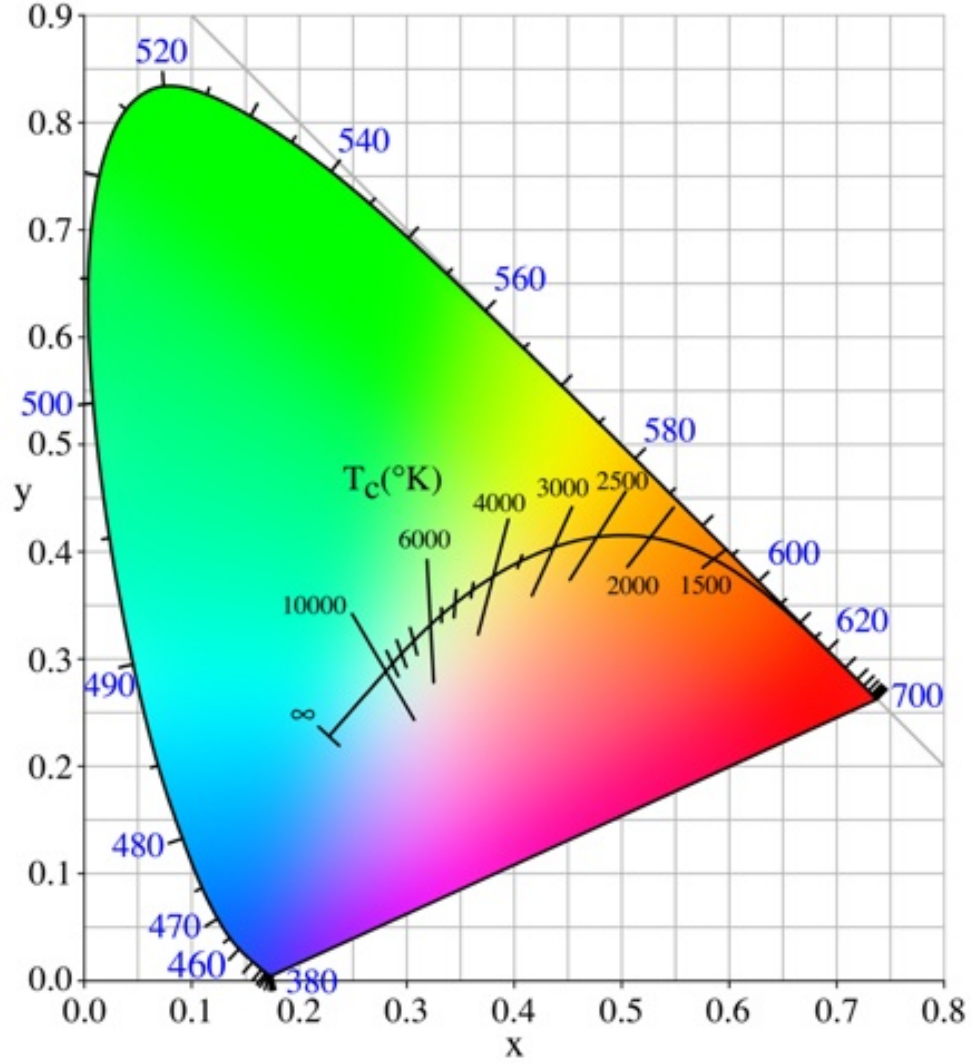
Kaynak: Epistar LED Chip and Packag, 2013

LED'ler diğer ışık kaynaklarından farklı olarak sadece bir renk ışık üretmektedirler. Diğer ışık kaynaklarında ise, örneğin kırmızı ışık elde edilmek isteniyorsa, beyaz ışığın önüne yerleştirilen kırmızı bir filtre ile ışığın dışarıya sadece kırmızı ışığın geçmesini sağlayarak renk çeşitleri oluşturulmaktadır.

İşte LED diyotların aydınlatmada en önemli katkısı sadece bir renk üretmesi, fazladan renkler ortaya çıkarmamasıdır. Bir LED kırmızı, yeşil, mavi gibi tek renk ışık yaymaktadır. Bu avantaj, konu beyaz ışık olduğunda dezavantaja dönüşmektedir. Çünkü tüm ışık türleri beyaz ışığı oluşturduğu için tek dalga boyundan beyaz ışık üretmek mümkün değildir. Aydınlatmada temel renk olan beyaz ışık sorunu çözmek için LED'lerde iki yöntem uygulanmaktadır. Bunlardan birincisi; Kırmızı, mavi ve yeşil renkli üç LED yarıiletkeninin aynı kılıf içinde çalıştırarak renklerin birleşiminden beyaz

ışık üretmek. İkincisi ise; Mavi LED yarı iletkeninden çıkan ışığın, bir fosfor tabakasını uyararak beyaz ışık yayılmasını sağlamaktır (Ledler Nasıl Çalışır 2013).

Şekil 4.12: LED' lere ait renk diyagramı



Şekil 4.12'de LED'lere ait renk diyagramı verilmiştir. Katalog değerlerinde, Renkli LED'ler dalga boylarına göre (Nanometre), beyaz LED'ler ise renk sıcaklıklarına göre (Kelvin) sıralandırılmaktadırlar.

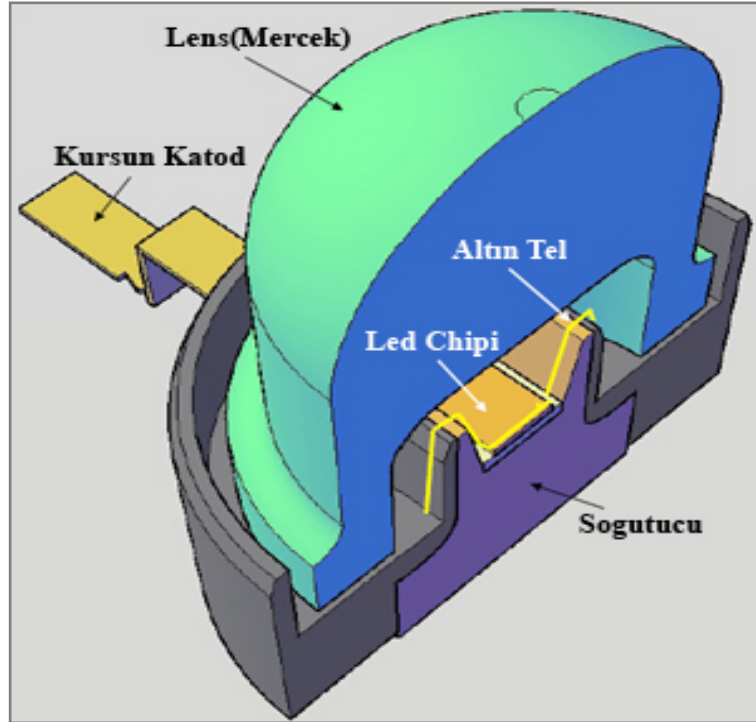
5. LED AYDINLATMA SİSTEMLERİ

Hızlı gelişen LED teknolojisi ile birlikte, süper Flux LED, Power LED gibi adlarda satılan, yüksek ışık akısı üretebilen LED'ler ile homojen bir aydınlatma mümkün olmaktadır. Bir çok LED'in belirli bir düzende yerleştirilmesiyle elde edilen yüksek ışık akısı sayesinde, LED lambalar sokak aydınlatmasında, iç ve dış aydınlatmada giderek artan bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır (LED ışık kaynakları 2007).

Dış aydınlatma kullanılan LED sokak lambalarının temel bileşeni olan LED paketleri aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır.

- a) Led Çipi
- b) Led Modülü
- c) Soğutucu
- d) Optik Lens
- e) Kontrol Devresi
- f) Güç kaynağı ve Sürücü devresi

Şekil 5.1: LED paketi kesiti



5.1 LED ÇİPİ

Şekil 5.1’de, yüksek güçlü tipik bir LED paketinin yapısını görülmektedir. LED çipi, bir gerilim uygulandığında ışık yayan yarı iletken malzemelerden oluşmaktadır. LED’lerin fonksiyonel bir ışık kaynağı olabilmesi için, yarı iletken çipi, soğutucu, optik lens, reflektör ve metal ayaklardan oluşan LED paketi olarak üretilirler. Çalışma akımı 350 miliAmper ile 1 Amper arasında iken ışık akısı 20 lümen ile 160 lümen arasında değişmektedir.

5.2 LED MODÜLÜ

Çoklu LED paketleri yapılarak üretilen LED’ler, aydınlatma sistemlerinde de kullanılmaya başlanmıştır. Bir devre kartına birden fazla LED paketlerinin entegre edildiği sisteme LED modülü denir. LED modülü, bazı durumlarda, bir sürücü devre veya bir akım düzenleyici devre olarak kullanılan ekstra elektronik devreler içerebilmektedir. Ayrıca LED modüllere ışık enerjisini istenilen yere yönlendirebilmek, daha iyi odaklanmak ve yoğunlaşabilmek için ikincil optik bileşen eklenebilir.

5.3 SOĞUTUCU

Soğutucu LED’deki ısının, uzaklaştırılmasını sağlayan malzemedir. Soğutucunun boyutu, soğutucunun yapılmış olduğu malzeme ve düşürülmesi gereken ısının büyüklüğüne göre değişebilir. Soğutucu ısıyı üç farklı mekanizma ile uzaklaştırır.

Kondüksiyon ; Bir katıdan diğerine ısı transferi yöntemiyle(Temas ile)

Konveksiyon; Bir katıdan akışkan bir sıvıya ısı transferi ile (Hava ile)

Radyasyon(Işınım); Farklı yüzey sıcaklıklarına sahip iki maddenin, elektromanyetik dalgalar yoluyla ışıınımı (Thermal management of high-power LEDs 2013)

LED’lerde ısının soğutulması yüzde 90 kondüksiyon yöntemiyle olmaktadır.

5.4 OPTİK LENS (Mercek)

LED'lerin en önemli avantajlarından biri de ışığı yönlendirilebilmesi, yani üretilen ışığın büyük kısmını istenilen alana düşürülebilmesidir. Bunun için özel olarak üretilen mercekler kullanılarak, ışığın kaynağından toplanıp, belirli bir açıyla yönlendirilmesi ile mümkün olmaktadır.

Özellikle ışık kaynağıyla aydınlanma alanı arasındaki mesafenin uzun olduğu, geniş alan aydınlatma uygulamalarında ve sadece belirli bölgelerin aydınlatılmasının amaçlandığı uygulamalarda, mercek kullanılması gereklidir.

Bir LED sokak lambasının optik bileşeni, ışığın yönlendirilmesi için kullanılmaktadır. Sokak lambalarındaki LED'lerde, optik bileşen olarak mercek ve/veya reflektörler kullanılmaktadır. Optik bileşenler, bir ışık fikstürü oluşturmada önemli bir etkiye sahiptir. Bazı durumlarda, ışık kaynağı, bir ortak bir fosfor tabakası altına dizilmiş LED çiplerinden oluşmuş ise, büyük bir mercek kullanmak gerekebilir. Büyük mercek kullanmak yüksek bir maliyete sebep vereceğinden, bu gibi durumlarda, bir reflektör veya bir reflektör sistemi, optik bileşen olarak kullanılabilir.

5.5 KONTROL DEVRESİ

Kontrol devresi akımı akışını düzenleyen bir birimdir.

5.6 GÜÇKAYNAĞI VE SÜRÜCÜ DEVRESİ

Yüksek güçlü LED'lerde, yüksek gerilim ve yüksek tepe akımlarına çıkan düzensiz akım değerleri stabil çalışmayı etkilemektedir. Bunun önüne geçmek amacıyla nominal akım ve gerilim değerlerinde çalışmasını sağlayan güç kaynakları veya sürücü devreleri kullanılmaktadır. Doğru akıma çevrilen sistemin voltaj değerleri 2-4 V aralığındadır. Yüksek güçlü LED'lerde ise akım değerleri 200-1000 mA arasındadır. LED'lerin belirli şartlardaki çalışma karakteristikleri üreticilerin katalog sayfalarında verilmektedir (Teke ve diğ. 2011).

6. LED LAMBALARIN AVANTAJLARI

Sokak aydınlatması için birçok avantajı olan LED lambalar, Konvansiyonel Lambalara(HID) uygun bir alternatif olmaktadır. LED'lerin en önemli avantajları; düşük enerji tüketimi, daha uzun ömürlü olmaları, iyi renk özellikleri, kompakt boyutları, doğrusal ışınım, azaltılmış ışık kirliliği, kırılma ve titreşime dayanıklılığı ve çevre dostu olmasıdır. Aşağıda bu özellikler detaylı olarak ele alınmıştır.

6.1 ENERJİ TASARRUFU

Günümüz teknolojiyle sürekli geliştirilmeye devam edilen LED lambalar, aydınlatma sektöründe kullanılmasının en büyük sebebi düşük enerji tüketmesidir. Yüksek güçlü LED ışık kaynakları, tasarruflu floresan lambalar ve sodyum (ve civa) lambalarına kıyasla yüzde 80'e varan oranlarda enerji tasarrufu sağlamaktadır. Bunun bir sebebi, LED'lerin balast ve starter gibi elemanlara ihtiyaç duymadan çalışmasıdır. Diğer sebebi ise, LED lambalarda ısı üretiminin çok düşük seviyelerde kalması sağlandığından, yüksek ısıdan kaynaklanan enerji kaybının önüne geçilmiş olmasıdır (LED avantajları 2013).

Akkor telli lambalarda flaman ısısı 2700 C, halojen lambalarda 3100 C, deşarjlı lambalarda ise tüp ısısı 800-1000 C `ye ulaşırken LED aydınlatmalarda bu ısı 150 C 'yi geçmez. Böylece enerjinin büyük bir kısmı, ısı yerine sadece ışığa çevrildiğinden yüzde 80 'e varan enerji tasarrufu sağlar.

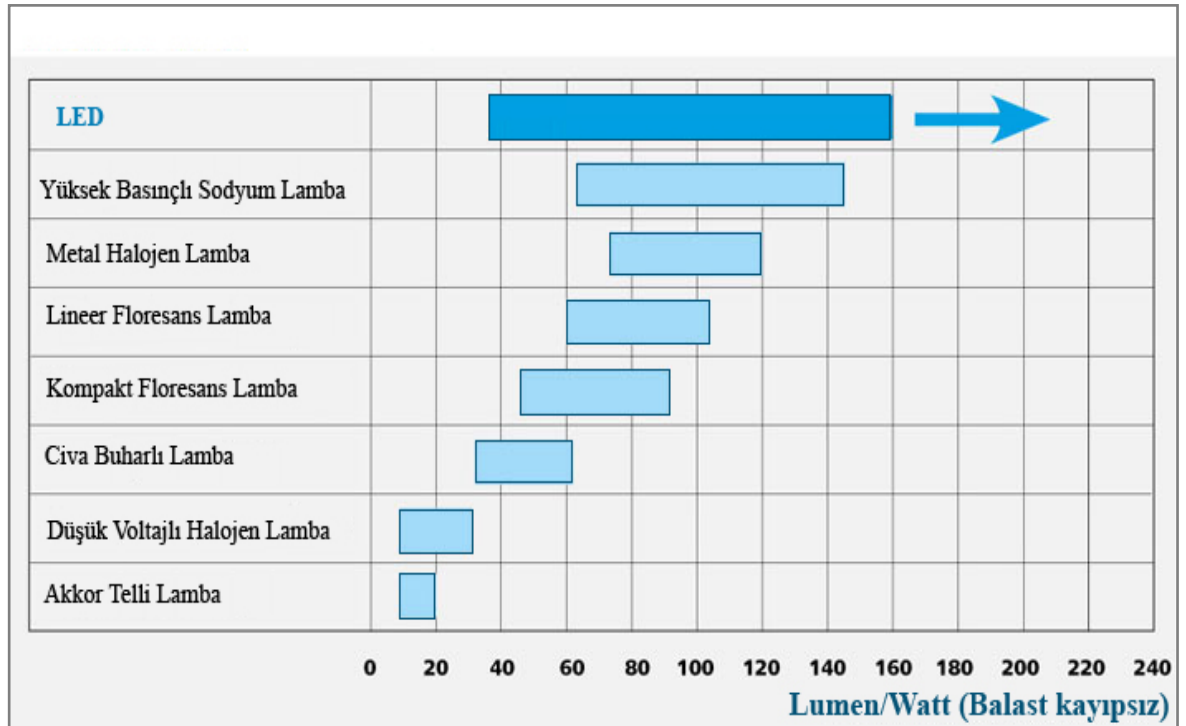
Trafik sinyalizasyonu uygulamalarında, LED lambaların kullanılmasıyla enerjide yaklaşık yüzde 90 oranında tasarruf edilebileceği tahmin edilmektedir. LED'lerden oluşan kırmızı trafik ışığı 10 Watt ile çalışırken, ampullü olanlar ise 150 Watt ile çalışmaktadır. Bu durumda yaklaşık olarak enerji tasarrufu yüzde 82 ile yüzde 93 arasındadır. Bu tasarruf sadece kırmızı sinyal ışıklarında yaklaşık yüzde 50 iken bütün trafik sinyallerinde yaklaşık yüzde 35 ile yüzde 40 civarındadır. Bu tahminlere göre Amerika'daki 260.000 trafik lambası (kırmızı, yeşil ve sarı) ampulleri, LED lambalar ile değiştirilirse enerji tüketimi 2,5 milyar kWh azalacaktır (Advantages of LED Lighting 2013).

Tablo 6.1: LED'lerin, konvansiyonel ışık kaynakları ile karşılaştırılması

Lamba	Gücü (W)	Etkinlik Faktörü	Yayıdığı Işık Akısı (lm/w)
LED	75	160	12500
Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba	140	150	26000
Yüksek Basınçlı Civa Buharlı Lamba	120	80	10000

Tablo 6.2'de, konvansiyonel aydınlatma elemanları ve LED lambalarının verimliliği görülmektedir. Bu tablodan görüldüğü gibi pratikte 160 lümen/Watt gibi rakiplerinden daha yüksek bir verimliliğe sahip olan LED lambalar, teknolojilerinin geliştirilmesi ile birlikte, laboratuvar koşullarında 230 lm/W (Cree Power LED) seviyelerine ulaşılmıştır. Sürekli geliştirilen verimliliği sayesinde yakın zamanda tüm aydınlatma elemanlarının yerini alacağı görülmektedir.

Tablo 6.2: Işık kaynaklarının etkinlik faktörleri(Işık Verimi)



Kaynak: Selection of the right light source 2013

6.2 UZUN LAMBA ÖMRÜ

Hassas ve kırılğan donanıma sahip olan geleneksel aydınlatmalar hafif de olsa herhangi bir darbeye maruz kalmadıkları takdirde ortalama 10.000-24.000 saat aralığında bir ömüre sahiptirler. Civa Buharlı sokak lambaları 10000 saat, Metal Halojen lambalar 22000 saat, Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların ömrü ise 24000 saat olduğu düşünülürse LED lambaların ömrünün 50000 saat ve üstü olması LED'lerin diğer bir üstünlüğüdür.

Tablo 6.3: Işık kaynaklarının ömürleri

Lamba Türü	Işık Etkinliği(lm/W)	Ömür(Saat)
Akkor lamba	8-16	1.000
Halojen lamba	12-26	2.000 - 4.000
Floresan lamba	45-100	6.000 - 15.000
Y.B. Civa Buharlı lamba	36-60	6.000 - 8.000
Metal Halide lamba	71-98	5.600 - 6.500
Y.B. Sodyum Buharlı lamba	66-142	10.000 - 15.000
A.B. Sodyum Buharlı lamba	100-198	11.500 - 20.000
LED Lamba	80-160	50.000 - 100.000

LED lambalar, titreşime ve kırılmaya karşı yüksek dirençli bir yapıya sahip olduklarından ortalama 50.000 saat ömürleri bulunmaktadır. İç ve dış donanımlarının son derece dayanıklı olması nedeniyle, LED'lerin katalog değerlerinde biçilen ömürleriyle, kullanım ömürlerinin yaklaşık olarak aynı olmasını sağlamaktadır. Bu dayanıklılık LED sistemlerinde kullanılan cihazların sağlam olması ve ısı, nem, toz, suya karşı yalıtımlı olarak üretilmelerinden kaynaklanmaktadır. LED'ler geleneksel lambalardaki gibi bir darbeye maruz kaldıklarında kolayca kırılabilen bir yapıya sahip değildirler. Düşük miktarda ürettikleri ısıyı, buldukları ortamın içine homojen bir şekilde yayarak, donanımının yıpranmasını engellerler. Ayrıca ısı yalıtımı, dış koşullardan kaynaklanan ısı farklılıklarıyla meydana gelen buharlaşmayı önleyerek cihazları arızalardan korurlar. Toz ve neme karşı dayanıklı olarak üretilen LED'ler, bu tip etkenlerin devrelere verdiği zararı engelleyerek, sistemin uzun ömürlü olmasını

sağlarlar. LED'lerin uzun ömürlü olduklarına en güzel kanıtı, 1980'lerde üretilen LED lambaların, günümüzde hala çalışıyor olmasıdır (LED avantajları, 2013).

Dış aydınlatmada kullanılan sokak lambaları, yılda ortalama 4.000 saat çalışmaktadır. LED lambaların 50.000 saat ömrü olduğu düşünülürse 10 yıl veya daha fazla bir kullanıma sahip olacağı görülmektedir. Bu nedenle, uzun ömrü LED'ler, işçiliği pahalı ve değiştirilmesi zor olan yerleri aydınlatmak için ideal bir çözüm olup, köprüler, tüneller, yüksek dağlık bölgeler, adalar vb. bölgelerde kullanılması mantıklı olacaktır.

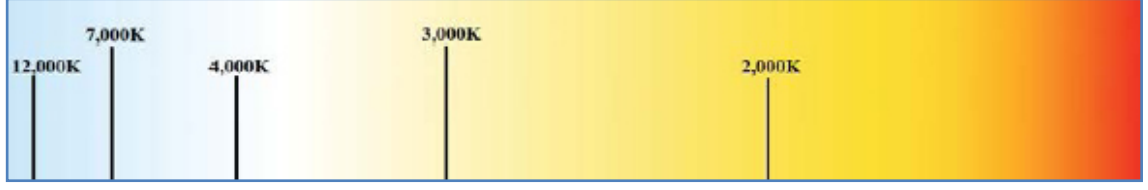
6.3 RENK KALİTESİ

Dış aydınlatmada kullanılan Yüksek Basınçlı Soydum Buharlı Lambaların(HPS) ışık kaynağı sarımsı renk verdikleri için, nesnelerdeki renk farklılıkları zor ayırt edilirken, LED'ler tarafından üretilen beyaz ışık bir nesnenin gerçek renginde görünmesini sağlamaktadır.

LED lambalar, yüksek Renk Verme Endeksi(CRI) sayesinde(Ra=80) kullanıcılarına geniş bir yelpazede renk seçeneği sunarlar. Milyonlarca renk oluşturulabilen, yüksek saflıkta renklendirilmiş bir ışık üretmektedir. Renkli ışık oluşturmak için, geleneksel ışık kaynaklarındaki gibi filtre kullanımı gerekmediği için daha parlak ve canlı renkler verirler. Böylece, enerji kaybı olmadan, daha saf, daha derin ve parlak renkler etmektedirler (LED Avan. 2013).

LED lambalar, 2500K ile 10000K arası değişim gösteren ilişkili renk sıcaklıklarında (CCT) sunulmaktadır. Bu CCT aralığı LED'lerin çok değişik uygulamalarda kullanılmasına olanak vermektedir. Renksel geriverimi de diğer aydınlatma kaynaklarına göre çok daha iyidir.

Şekil 6.1: İlişkili renk sıcaklığı



LED ışık kaynakları, yüksek renk verme indeksi sayesinde, trafik ışıkları ve sokak işaretlerinde kullanılırsa, bu işaretlerin sürücüler ve yayalar için daha kolay algılanmasını sağlayıp, sürücü reaksiyon sürelerini azaltarak, trafik güvenliğini artırmaktadır.

LED'ler tek renk olarak, kırmızı, mavi, yeşil, sarı (amber), turuncu, pembe, günışığı ve beyaz renklerinde üretilmektedirler. Diğer renkleri elde edebilmek için, RGB renklerinin karışımı kullanarak oluşturmaktadırlar.

6.4 GÖZ SAĞLIĞININ KORUNMASI

Kullanılan ışık kaynağı, yansıma ve ışığın homojen olarak dağılması gibi faktörler göz sağlığı açısından önemlidir. Flüoresan lambalarda bulunan ve göz kırpması olarak bilinen flaş etkisi LED lambalarda bulunmamaktadır. Bununla birlikte elektromanyetik dalgalar, ultraviyole, morötesi veya kızılötesi ışınım yaymayan LED'ler, insan sağlığı açısından aydınlatmada en uygun seçimdir. . Düzgün ve iyi tasarlanmış bir aydınlatma ile verimli ve sağlıklı görmeyi sağladığı için insan üzerinde olumsuz psikolojik etki yaratmamaktadırlar (LED Avan. 2013).

6.5 ISINMA SÜRESİNE İHTİYAÇ OLMAMASI / HIZLI AÇ KAPA

Dış aydınlatmada yoğun olarak kullanılan soydum buharlı lambalarda, etkin ışık verebilmeleri için belirli bir ısınma süresine ihtiyaç duyarlar. Çalışma sıcaklığına yaklaşık 5 dakika ulaştıklarında, normal değerlerinde ışık vermeye başlarlar. LED lambalar da ise 60 nanosaniye gibi kısa bir sürede devreye girerek ve -30 °C'ye varan düşük sıcaklıklarda bile en iyi parlaklık ve renk seviyesine ulaşmak için ısınma süresine ihtiyaç duymazlar. Ayrıca herhangi bir anlık elektrik kesilmesinde, deşarj tüplü

lambaların tekrar devreye girebilmeleri için gerekli olan "soğuma süresi" LED'lerde yoktur. Yani, her seferinde elektrik verildiğinde hemen ilettime geçerek aydınlık sağlarlar. Bu özelliklerinden dolayı açma kapama yapmaya uygundurlar.

Hızlı aç/kapa özelliğine sahip LED'ler, standart enkandesan lambalara göre 170 ila 200 milisaniye daha hızlı cevap verebilmesi, özellikle araç fren lambalarında kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Genel aydınlatma uygulamalarında ön ısıtma süresinin olmaması, güvenlik ve konfor uygulamalarında, otomasyon sistemlerinde tercih edilmesini sağlayarak, yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Hızlı aç/kapa olması sebebiyle, sensörlü aydınlatma sistemlerinde ve akıllı ulaşım sistemlerinde kullanılmasını sağlamaktadır. (Akbulut ve Gül, n.d.)

6.6 KOMPAKT BOYUT

LED'ler geleneksel sokak kaynaklarına kıyasla çok daha küçük hacimdedirler. Küçük boyutlarından dolayı çeşitli uygulamalarda tasarım esnekliği sağlamaktadırlar. Dış aydınlatmada kullanılan geleneksel armatürler ile eşit aydınlık düzeyi elde etmek için çoklu LED paketlerinin bir araya getirilerek oluşturulan LED modüllerine ihtiyaç vardır. Bu LED modüllerden oluşan ışık kaynakları, eşdeğer ışık akısı üreten geleneksel lambalara göre daha düşük boyutlardadır. LED'lerin küçük boyutlu olmasının diğer bir avantajı da küçük alanlarda farklı renk karışımını sağlamaya olanak vermesidir.(Akbulut ve Gül, n.d.)

6.7 YÖNLÜ IŞIK YAYABİLME

Geleneksel ışık kaynakları her yöne ışık yaymaktadırlar. Üst yarım küreye yayılan ışık, reflektörler vasıtasıyla hedef bölgeye yönlendirilse de, kayıplar fazladır. LED lambalarda ise üzerinde bulunan lenslerin etkisiyle yayılan ışık her yöne değil de, belirli bir hedef bölgeyi içerek şekilde üretilirler, kayıpları azdır. LED lambalarda ışık dağılımını, kullanılacak ortama göre istediğimiz şekilde yayılabilmesi için çeşitli lensler kullanılır. Geleneksel ışık kaynaklarının çalışma esnasında çok yüksek sıcaklıklara eriştiğinden dolayı lens kullanılmasına imkan olmayıp, reflektörler vasıtası ile bu iş yapılmaya çalışılır. Reflektörler ışığın bir noktaya odaklanmasında kullanılabilmelerine rağmen homojen bir aydınlatma sağlayamaz. (Perdahçı ve diğ. 2013)

6.8 DÜŞÜK IŞIK KİRLİLİĞİ

Işık kirliliği, aşırı aydınlatma ve parlama ile istenmeyen şekilde ortaya çıkmaktadır. Özellikle cadde kenarlarındaki reklam panoları, ışık kirliliği yaparak, sürücülerin dikkatini dağıtarak, kamaşma veya parıltıya sebep olarak trafik güvenliğini tehlikeye sokmaktadır.

LED lambalarının yönlü ışık yayabilmesi, aydınlatılan alana doğrudan ışık vererek, optimum bir şekilde aydınlatma yapmasını sağlamaktadır. Doğrudan görünümünde parlama yapmazlar. Konvansiyonel sokak lambaları gibi her yöne ışık yayarak; aşırı aydınlatma, parlama ve ışık kirliliğine neden olmazlar. LED'ler optik lensler ile belirli bir yere odaklanarak tasarlanırlar. Bu nedenle aşırı aydınlatma ve parlamanın önüne geçerek, ışık kirliliğine sebep olmazlar.

6.9 ÇEVRESEL ETKİ

Çevreyi kirletmeyen, minimum ısı üreten ve UV ışını yaymayan LED lambalar, hassas aydınlatılması gereken ve UV ışınına karşı duyarlı olan objeler için son derece uygundur. Örneğin; tarihi eser, tarihi binalar ve bitki aydınlatması için çok idealdirler.

LED'lerin çevre dostu olmasını sağlayan özellikler;

- a. Civa ve kurşun gibi çevreye zararlı maddeler içermezler.
- b. İnsan sağlığına zararlı ultraviyole (Morötesi) ve kızılötesi (Infrared) ışınlar üretmezler.
- c. Aydınlatma armatürlerinde geri dönüşümü kolay, kalıp dökümlü alüminyum parçalar kullanılır.
- d. Buldukları ortama daha az ısı verilmesini sağlayarak, mekanın iklimlendirme yükünü düşürür. Bunun sonucunda ekstradan bir enerji tasarrufu oluşmuş olur (Kocaeli Belediyesi 2013).
- e. Çalışma anında yüksek ısı üretmediği için yangın çıkarma riski çok düşüktür. Düşük ısıda çalışma özelliği sayesinde, mutfak, fabrika gibi yerlerde gaz

sızıntısı yüzünden sıkça meydana gelen patlama veya tutuşma gerçekleşmez (LED avantajları 2013).

- f. Düşük enerji tüketimleri sayesinde, sera gazı emisyonlarının önemli ölçüde azalmasını sağlarlar. Örneğin; 1000 m²'lik bir alanın aydınlatmasında standart eski tip aydınlatma kullanıldığında ortalama 48 adet 250 Watt buharlı tip lamba, günde 10 saat açık kalacaktır. Bu değerlerde yılda 43,800 kWh elektrik tüketir. Bu elektriğin termik santralde üretilebilmesi için atmosfere yılda 29,2 ton karbondioksit yayılmasına sebep olur. Halbuki, aynı mekan LED lambalar ile aydınlatıldığında yüzde 80'e varan enerji tasarrufu sağlanacağından gerekli elektrik enerjisinin üretilmesi için termik santralde daha az karbondioksit miktarı salınacaktır (Niki LED 2013).

6.10 DİMMERLAMA YETENEĞİ

Dimmerlemek, ışık kaynağının çektiği akımı azaltarak ışığın kısılması yani verdiği ışık şiddetinin düşürülerek karartılmasıdır.

Akkor telli lambalar da ucuz kontrollerle dimmerleme yapılabilirken, floresan ve konvansiyonel ışık kaynaklarında bu iş zordur. HPS lambalarda kademeli(multilevel) balastlar kullanılarak kademeli olarak aydınlık seviyesi değiştirilebilmektedir. Bu maliyetli ve sürekli bir karartma sağlamadığından kullanışlı değildir.

LED'lerde ise sürücü akımı düşürülerek ışık yoğunluğu azaltılması suretiyle dimmerleme yapılmaktadır. Bu şekilde, LED lambalar normal ışık değerinin, yüzde 10'una kadar daha az ışık verebilecek şekilde sürekli olarak ışığı kısılabilmektedir. Ayrıca LED'ler darbe genişlik modülasyonu ile darbe süresi değiştirilerek de dimmerleme yapabilmektedirler. Bu durumda ise maksimum değerinin yüzde 0.05'ine kadar ışık seviyesi sürekli olarak düşürülebilir. (Timinger ve Ries 2008)

LED lambalar dimmerlenerek ışığı karartıldığında, HPS lambalara göre ışık verimi ve renk aralığı yönünden çok daha iyi olduğundan da tercih edilmektedir.

Aydınlatma otomasyon sistemlerinde kullanılan dimmer üniteleri sayesinde, aydınlatmanın kısıldığı oranda enerjiden tasarruf etmek ve ışık kaynaklarının ömrünü

uzatmak mümkündür. Gün ışığından maksimum seviyede yararlanmak için ışık sensörleri, kimsenin bulunmadığı alanlarda enerji sarfiyatını önlemek amacı ile hareket dedektörleri, çevre aydınlatmalarını ekonomik şekilde programlayabilmek amacı ile astrolojik zaman saatleri, aydınlatma otomasyon sistemi içerisine entegre edilerek maksimum düzeyde enerji tasarrufu sağlanabilir. (Kadirbeyoğlu 2002)

Akıllı kontrol sistemlerinde, ışık dimmerleme(kısmak) enerji tasarrufu için kullanılan bir yöntemdir. Mesela; Trafik ışıklarında, gece ile sabahın erken saatleri arasında dimmerleme yapılarak aydınlatma seviyesi düşürülebilir. Bu şekilde bir akıllı kontrol sistemiyle dimmerleme yapıldığında yüzde 30'a kadar enerji tasarrufu yapılacaktır. (Timinger ve Ries 2008)

6.11 TİTREŞİME DAYANIKLILIK VE KIRILGANLIK

LED lambalar, geleneksel lambalar gibi filaman ve cam kaplama içermedikleri için sıcaklıktaki büyük değişimlere ve titreşime karşı çok dayanıklıdırlar. Normal bir ampuldeki flaman, ani bir darbeye ya da “yumuşak” bir düşüşle bile rahatlıkla kırılabilen hassas bir yapıya sahipken, LED ise kırılmaz ve yüksek dirençli saydam bir reçineyle kaplanmaktadır (LED aydınlatma sistemleri 2013).

Parçalanması zor olan LED'ler, inanılmaz derecede kuvvetli olup, darbe, sarsıntı, mekanik termal basınç ve vandalizm'e karşı dirençlidirler. Sarsıntıya ve yüksek titreşime maruz kalan ortamlarda, arabalarla, kamyonlarda, köprülerde, uçak kokpitlerinde, endüstriyel teçhizatlarında, asansör ve yürüyen merdivenlerde kullanılmaktadırlar. Ayrıca aşırı soğuk ya da yüksek nem gibi “muhalif” ortamlarda kullanılması mantıklı olacaktır. LED'lerde kırılmaya müsait cam ya da flaman bulunmaması sebebiyle sürekli lamba değiştirme maliyetini de ortadan kaldırmaktadır.

7. LED LAMBALARIN DEZAVANTAJLARI

LED'lerin birçok avantajlarına rağmen sokak aydınlatmasında kullanım oranı düşüktür. LED'lerin sokak aydınlatmasında az kullanılmasının asıl sebebi, yüksek kurulum maliyetidir. LED lambaların fiyatları, diğer aydınlatma elamanlarına göre çok pahalıdır. Buna ek olarak, LED'lerin ısı yönetimi ve tutarlı beyaz ışık verme sorunları vardır. Aşağıdaki LED sokak lambalarının dezavantajları hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir.

7.1 KURULUM MONTAJ MALİYETİ

LED'lerin sokak aydınlatılmasında tercih edilmemesinin en büyük sebebi yüksek kurulum maliyetlerinin olmasıdır. Karayolu aydınlatmasında kullanılan LED armatürlerin fiyatı, yaklaşık 500\$ ile 1.000\$ arasında değişirken, 100W ve 250W HPS lamba armatürlerinin fiyatı ise sırasıyla 100\$ ve 250\$ dir. Ayrıca LED'lerin lamba yenileme maliyeti de yüksektir. Arıza anında HPS lambalar yerinde değiştirilerek müdahale edilirken, LED lambalarda ise LED paketlerinin bulunduğu baskılı devre kartlarının sökülüp değiştirilmesi gerekmektedir(Tetra Tech EM Inc. 2003).

İşçilik hariç, bir yüksek güçlü aydınlatma LED lambasının baskı devresi ile değiştirmek 400 \$ kadarken geleneksel HID armatürlerde lambanın maliyeti sadece 15 \$ -40 \$ arasındadır (Tetra Tech EM Inc. 2003).

Kurulum maliyetini etkileyen bir diğer faktör de, LED dönüşümü yapılacak karayolu üzerinde, Çok yüksek güçlü HID armatürlerin sağladığı aynı ışık seviyesi verilmek istendiğinde, ekstra direk koyulacak, kabloların yapılması gerekecektir. Bu da maliyeti daha da yukarıya çekecektir.

7.2 ISI DÖNÜŞÜM ORANI

Düşük ısınma ve elverişli çalışma karakteristiği LED sokak lambalarının olumlu yanlarıdır. LED'ler genellikle 60° C altında ışık üretir, HPS lambalar ise 300° C civarında ışık üretirler. Ancak LED'lerde Güç-Isı dönüşüm oranı HPS lambalara göre daha yüksektir. Yüksek güçlü LED paketleri, giriş gücünün yüzde 20'sini ışığa, yüzde 80'i ise ısıya çevirmektedir. Bu ısı miktarı, geleneksel ışık kaynaklarında büyük bir

kısmı radyasyon yoluyla düşürülürken, LED’lerde ise kondikasyon metoduyla düşürülmeye çalışılması zorluklara sebep olmaktadır (LED Profile 2012).

Tablo 7.1: Işık kaynaklarının ısı uzaklaştırma mekanizmaları

Işık Kaynağı	Radyasyon Yoluyla Isı İletimi	Konveksiyon Yoluyla Isı İletimi	Kondikasyon Yoluyla Isı İletimi
Akkor Telli Lamba	>90	<5	<5
Floresan	40	40	20
Deşarj Lambaları(HID)	>90	<51	<5
LED	<5	<5	>90

Kaynak: Faraz 2011

Tablo 7.1’de, farklı ışık kaynaklarının ısı düşürme yolları karşılaştırılmıştır. Tabloda görüldüğü gibi yüzde 90 ısının atılması, akkor ve yüksek yoğunluklu deşarj lambalarda, radyasyon yoluyla yapılırken LED’lerde ise kondikasyon yoluyla yapılmaktadır.

7.3 BEYAZ IŞIK İÇEREN KONULAR

Akkor lambalardan farklı olarak LED’ler, doğal beyaz ışık üretmezler. LED ışık kaynağı tarafından görünür spektrumda yayılan ışığın, dalga boyu çok dar bir bant içinde kaldığından, tek renkli ışık yayarlar. Tek renkli ışık yaymaları, trafik ışıkları ve reklam panoları için LED’lerin çok avantajlı olmalarını sağlarken, dış aydınlatmada kullanılan beyaz ışık konusunda eksiklikleri vardır. LED’lerde beyaz ışık oluşturmak için aşağıda belirtilen üç farklı yöntem vardır.

- RGB (Kırmızı, Yeşil, Mavi) Yöntemi: Beyaz ışık birden fazla tek renkli (kırmızı, yeşil ve mavi) yarı iletkenlerin aynı anda ışık vermesi ile oluşturulur.
- Fosfor Dönüşümü: Mavi ışık yayan yarı iletkenin üzerine, pastil şeklinde ilıştırılan fosfor tabakasının uyarılması ile beyaz ışık oluşmaktadır (Kocaeli Belediyesi 2013).
- Ultraviyole Dalga Boyu Dönüşümü: Ultraviyole ışın yayan LED’in, Floresan bir bileşen vasıtasıyla bu ışımayı görünür beyaz ışığa dönüştürmektedir.

Şu anda, aydınlatmada kullanılan çoğu beyaz LED çipleri, fosfor dönüşümü tekniği ile üretilmektedirler. Bununla birlikte, fosfor dönüşüm teknolojisi ilişkili renk sıcaklığını yükseltip serin ve mavimsi bir renk değişikliğine yol açmaktadır. Bu da aydınlatılan bölgede, özellikle kırmızı renklerde renksel geriverimi düşürmektedir. Buna ek olarak fosfor dönüşümünde kullanılan fosforun verimliliği LED diyotun parlaklığını etkilemektedir. Doğal ve sıcak beyaz LED'ler de fosfor dönüşüm yoluyla elde edilebilir olsa da verimliliği normal LED'lerden daha düşüktür.

Ultraviyole dalga boyu dönüşümü ile elde edilen beyaz renklerde, iyi bir renk bütünlüğü ve basit bir sürücü kullanılması avantajları vardır. Bununla birlikte, bu yöntem ile üretilen beyaz LED'ler, genel olarak diğer iki yöntem ile üretilen beyaz LED'ler ile karşılaştırıldığında, düşük bir ışık verimi ve kısa bir ömrü olmasıdır (IESNA Light Sources Committee 2005).

7.4 LED MODÜL DİZİLERİNİ KULLANMAK

LED'ler, Metal Halide ve HPS lambalar gibi geleneksel sokak lambaları ile karşılaştırıldığında, tek bir LED çipinin (paket) oluşturacağı aydınlatma çok zayıf kalmaktadır. Tek bir LED paketi 1W'tan 10W'a kadar aydınlatma gücü ile çalışırken bir HPS lamba genelde 100W, 250W, 400W olarak çalışmaktadır. Çok sayıda LED çipleri yonga üzerinde bir araya getirilerek, LED modülü oluşturularak yüksek güçlü aydınlatma şiddetine erişilip yol aydınlatmalarında hazır hale gelmektedir. Daha önceden de belirttiğimiz gibi LED modülü bir aydınlatma sisteminin yapı taşıdır. LED modülü, birden fazla LED çipleri (paket), sürücü devre veya akım düzenleyici devre, ikincil optik (yani reflektör, mercek vb.) ile bir devre kartından oluşur.

LED modülü dizileri, aydınlatmanın fazla olmasını sağlasa da, aynı zamanda bazı dezavantajları beraberinde getirmektedir. İçindeki bir veya daha fazla LED paketi bozulduğunda, armatürün ışık seviyesi düşecek, arıza anında ise LED modülü onarmak için zaman ve maliyet artacaktır. Diğer bir dezavantajı ise içerisindeki LED paketlerinden çıkan ışık kaynakları, birden fazla gölge oluşmasına sebep olarak yaya ve sürücülerin dikkatinin dağılmasını sağlamaktadırlar.

8. LED VE METAL HALİDE SOKAK LAMBALARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Metal Halide lambalar, HPS lambaların geliştirilmesini takiben, 1960 yılında kullanılmaya başlanmıştır. Metal Halide lambalar Watt başına 60-110 lümen arasında verimliliğe sahip olup civa buharlı lambalara kıyasla çok önemli bir avantaja geçmiştir. Bir Metal Halide lamba, civa ve argon dahil olmak üzere çeşitli metal halojenürler içeren bir ark tüpten oluşmaktadır. Tam çalışma sıcaklığında, ark tüpün içindeki tüm metal halojenürler buharlaşmış olur. Halojen buharı deşarj yüksek sıcaklık eşiğine ulaştığında, halojen ve metal ayrılır, metal molekülleri kendi spektrumlarını yayar. Metal ve halojenler difüzyon ve konveksiyonla deşarj tüpünün daha soğuk kısımlarına, özellikle dış duvarlara hareket ederek, çevrimi yeniden başlatmak üzere birleşirler (Timinger ve Ries 2008).

Günümüzde sokak aydınlatma lambaları için kullanılan ışık kaynaklarından biri de Metal Halide lambalardır. Aşağıda LED ve Metal Halide lambaların her iki ışık kaynağı ve lamba seviyesinde fotometrik karşılaştırmaları yapılmıştır. Ayrıca optik karşılaştırma yapılarak optik tasarımın sokak LED lambalarının verimliliği ve ekonomik performanslarında önemli bir rol oynadığı görülmüştür.

8.1 IŞIK KAYNAGI OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI

Mevcut katalog değerleri kullanılarak, metal halide, civa buharlı ve LED ışık kaynakları karşılaştırması Tablo 8.1'de gösterilmektedir. Bu bölümde yapılan karşılaştırmalar eski tip Metal Halide lambalar için yapılmıştır. Yeni teknoloji ürünü olan Darbe Başlangıç Metal Halide ve Seramik Metal Halide lambalar bu karşılaştırmanın dışında tutulmuştur. Üç kaynağın ışık etkinlikleri karşılaştırıldığında birim güç başına lümen çıkışı en az civa buharlı lambalarda olduğu görülmektedir. Öte yandan LED'ler ile Metal Halide lambaların ışık verimliliği karşılaştırıldığında LED'lerin ışık verimliliği çok daha iyi durumdadır. Tablo 8.1'de görüldüğü gibi tek bir civa veya Metal Halide lambanın sahip olduğu geniş güç aralığı sayesinde, bir sokak lambası için gerekli olan tüm ışık akısını sağlayabileceği görülmektedir. Öte yandan, sokak lambası için gerekli

ışık akısı için, tek bir LED'in gücü düşük olduğundan, 20-50 LED'den oluşan LED modülleri ile sağlanmaktadır (Timinger ve Ries 2008).

Tipik lamba fiyatlarının karşılaştırılmasında, LED sistem modüllerinin üretim maliyetleri hesaba katıldığında, civa ve metal halide lambalardan daha pahalı olduğu görülmektedir. Bununla birlikte bir sokak lambasının yıllık çalışma süresi 4000 saat civarında olduğu varsayılırsa LED'lerin tahmini ortalama ömrü dikkate alındığında, 10 yıl, metal halide ve civa lambaların ise 5.5 yıl ve 2.5 yıllık ömrü olacaktır.

Aşağıdaki Tablo 8.1'e göre LED'ler, güvenlik ve rahatlık için gerekli temel aydınlatma seviyeleri sağlayacak şekilde ışığı kısılarak dimmerleme yapma yeteneği, civa ve metal halide lambalar göre çok daha iyidir. LED ışık kaynağının Metal Halide ışık kaynaklarına göre diğer bir avantajı ise LED ışık kaynaklarının anında açma / kapama yapılabilmesidir. Metal Halide lambalarda belirli bir çalışma sıcaklığı gerektiğinden açılıp kapanması daha uzun sürmektedir.

Tablo 8.1: LED, Metal Halide ve Civa Buharlı lambaların karşılaştırması

	Civa Buharlı	Metal Halide	LED
Etkinlik Fak. (lm/W)	50	110	>150
Güç (W)	50–1,000	20–250	2–15
Fiyat/k lumen (€)	<1.00	~7.00	10.00–20.00
Ömrü (saat)	10,000	22,000	50,000
Renk	Beyaz	Soğuk Beyaz	Beyaz
Dimmerleme	Kötü	Kötü	Mükemmel

Kaynak: Timinger ve Ries 2008

Metal Halide lambalar ve LED'lerin enerji dönüşüm karşılaştırması Tablo 8.2'de gösterilmiştir. Metal Halide lambalardan farklı olarak LED'ler önemli miktarda kızılötesi ve morötesi ışık yaymazlar. Ancak Metal Halide ampuller elektriğin yüzde 37'sini ısıya dönüştürürken LED'ler elektrik enerjisinin yaklaşık yüzde 75-85'ini ısıya dönüştürmektedir. Bu nedenle LED ışık kaynakları Metal Halide ve HPS lambalarına göre daha düşük sıcaklıklarda çalışmalarına rağmen ısı yönetimi LED ışık kaynakları için temel bir konu olmaktadır.

Tablo 8.2: LED ve Metal Halide lambaların güç dönüşüm tablosu

	Metal Halide Lambalar	LED
Görünür Işık	27	155–25%
Kızılötesi(Infrared)	17	~0%
Morötesi(Ultraviolet)	19	0%
Isı	37	75–85%

Kaynak: U.S. Department of Energy 2007

Özetle, LED'ler sokak lambaları için gerekli ışık akısını sağlamaları için modüler sistem olarak üretilmeleri gerektiğinden kurulum maliyetleri, Metal Halide lambalara göre önemli ölçüde yüksektir. Öte yandan LED'ler, daha uzun ömürlü olabilir, daha fazla renk seçenekleri sunabilir ve karartma(dimmer) ile ek enerji tasarrufu sağlayabilir. LED sokak lambalarının modüler tasarımı yüzünden daha yüksek üretim maliyeti getirmesine rağmen LED yenilikçi bir görünüm ile ürün tasarımı için uygulamalar için daha fazla seçenek sunmaktadır (Timinger ve Ries 2008).

8.2 OPTİK KARŞILAŞTIRMASI

Belirli bir ışık kaynağından en yüksek verimi elde etmek için iki hususun yerine getirilmesi gerekir:

- Işığın mümkün olan en yüksek kısmını hedef alanı içine yönlendirmelidir.
- Hedef alanı içinde homojen bir aydınlatma sağlanmalıdır.

Her yöne ışık yayan Metal Halide lambaların aksine, küçük düz ışık kaynaklarından oluşan modern yüksek güçlü LED'ler tek bir yarım küreye ışık yayarlar. Işık ve renk, Metal Halide lambalarda homojen olmayan bir şekilde dağıtılır. Buna karşılık LED'ler ışığı ve rengi tek yönde dağıtarak sıcak noktaları ortadan kaldırarak homojen bir aydınlatma sağlarlar. Her iki sistem içinde hedef alana ışığı yönlendirmek için bir reflektör gerekir. Metal Halide sokak lambalarında, ışığın yansıtılabilmesi için ışık kaynağı ile reflektör arasında bir mesafe bırakılır. Ancak ışık reflektör tarafında iyi yansıtılmadığı için ışık lambadan boşluğa doğru hareket eder ve ışığın büyük bir kısmı hedef bölgeye düşmez. Teorik olarak direk ışığı ve yansıtılan ışığı ayıran daha büyük bir sistem tasarımı ile bu direk ışığın hedef alana yönlendirilmesi mümkün olsa da bu sistem, sistem maliyetini önemli ölçüde arttırmaktadır (Timinger ve Ries 2008).

Metal Halide lambalara göre, her bir LED için tek bir optik sistem kullanımı ile LED ışığının hedef alana yönlendirilmesi daha kolaydır. Bu şekilde her bir LED çipleri tarafından yayılan ışık hedef alanın farklı bölgelerini doldurur. LED'ler böylece Metal Halide lambalara göre üstün optik verimliliği sağlamış olur. Ancak, LED'ler verimli bir yol aydınlatması için bir dizi halinde birlikte gruplandırılmış olması gerekmektedir.

9. LED VE YÜKSEK BASINÇLI SODYUM BUHARLI LAMBALARIN(HPS) KARŞILAŞTIRILMASI

1968 yılından bu yana, yüksek basınçlı sodyum (HPS) lambaları sokak aydınlatmaları için kullanılmaktadır. Bu lambalarda elektrot, sodyum, civa ve küçük miktarda xenon içeren seramik materyallerden yapılmış ince ve uzun ark boruları vardır. HPS lambalar ark borularının içindeki materyallerin buharlaşmasıyla ve floresanın içine akışıyla ışık üretir. Şu anda, HPS lambalar Türkiye’de sokak aydınlatmaları için en çok kullanılan aydınlatma kaynağıdır. Düşük renk skalası ve yüksek ışık etkinliği (Watt başına 120 lümene kadar) HPS lambalarının en çok bilinen karakteristik özellikleridir. Öte yandan LED’lerin aydınlatma verimliliğindeki kayda değer gelişmeleri, sokak aydınlatmaları için umut verici bir alternatif olduklarını göstermektedir. LED teknolojisindeki son gelişmeler sayesinde, LED’lerin verimliliği Watt başına yaklaşık 160 lümene kadar çıkmış ve verimi daha yüksek olan LED’ler laboratuvar ortamında 240 lümen seviyelerine kadar geliştirilmiştir (EERE 2013).

LED’lerin yüksek kurulum maliyetlerinden dolayı sokak aydınlatmaları için kullanılmasında bir çekimserlik mevcuttur.

Aşağıdaki Tablo 9.1’de, yol aydınlatması için LED ve HPS sistemlerinin enerji verimlilikleri karşılaştırılmaktadır. Ayrıca gece görüşü, ışık rengi ve dimmerleme gibi bazı faktörlerin sistem verimliliğini etkilemesini analiz etmektedir. LED’lerin aydınlatma verimliliği HPS lambalardan daha üstün olup ışık etkinliğindeki bazı önemli gelişmeler, LED’lerin yakın gelecekte aydınlatma sektöründe rakipsiz olacağını göstermektedir.

9.1 IŞIK KAYNAĞI OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI

Işık kaynağının aydınlatma verimliliği(lm/W), bir aydınlatma sisteminin performansını belirleyen önemli faktörlerden biri olmasına rağmen armatür etkinliğini(verimliliği) kullanarak aydınlatma sisteminin performansını değerlendirmek daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Çünkü ışık kaynağından çıkan ışık, armatürdeki reflektörler ile hedef bölgesine ulaştığından, armatür etkinliği önemli olmaktadır.

HPS lambalar ve LED'ler için tipik fotometrik verileri Tablo 9.1'de karşılaştırılmıştır. Bu verilere göre LED lambaların tipik ışık etkinliğinin, piyasadaki HPS'lerden biraz daha yüksek olduğunu göstermektedir. Günümüzde ise 240 lümen ışık verimliliğine sahip yüksek güçlü beyaz LED'ler laboratuvar ortamında üretilmiştir. Bu da LED'lerin sokak aydınlatması için yakın zamanda alternatifsiz olacağını göstermektedir.

Ayrıca, LED'lerin ışık verimi hala sürekli bir artış halinde olmasına rağmen HPS lambalarının ışık verimliliğini arttırmak çok zordur.

Tablo 9.1: LED ve HPS lambaların karşılaştırma tablosu

	HPS	LED(Piyasa)	LED
Işık Etkinliği (lumen/W)	110	150	240
Isı Verimliliği (%)	100	9	9
Elektrik Verimliliği (%)	85	9	9
Armatür Verimliliği (%)	75	9	9
Armatür Etkinliği lumen/W)	70.1	72.9	109.4

Kaynak: Li et al. 2009a

Sokak aydınlatmalarında daha küçük boyutlara sahip LED'ler, çok noktalı ışık kaynağı olması ve yönlü ışık yaymalarından dolayı yol boyunca daha düzgün aydınlık sağlamaktadırlar. Halbuki, HPS lambalarda reflektör kullanılması ile oluşturulan optik tasarım, yol boyunca düzensiz bir aydınlatma sağlar. HPS lambalar her yöne ışık yaymaları sonucu, ışık istenilen bölgenin dışına çıkararak, aşırı aydınlatma ile parlıltı, göz kamaşmasına neden olarak, ışık kirliliğinin artmasına sebep olurlar. Bu optik tasarımlar ile veya kesme ile azaltılsa da, LED sokak lambaları odaklanmak üzere tasarlanmıştır ve her yöne ışık yaymaz (Li et al. 2009a).

Sonuç olarak, LED'ler önemli ölçüde, ışık kirliliğini, aşırı aydınlatmayı ve parlamayı önemli ölçüde azaltmaktadır. Ayrıca LED'ler, HPS ışık kaynaklarının tersine, civa içermez, çevreyi ısıtmaz, ultraviyole ve kızılötesi ışık yaymazlar.

9.2 IŞIK RENGİ BAKIMINDAN KARŞILAŞTIRMA

LED ışık kaynaklarının HPS lambalarına göre daha yüksek ilişkili renk sıcaklığı ve renk indeksi vardır. Böylece, LED ışık kaynakları HPS lambalar ile karşılaştırıldığında üstün renk çeşitliliği vardır. HPS lambaların renk dönüşüm indeksi(CRI) değeri 20 civarında iken LED'lerin CRI değeri yaklaşık 60-90 arasındadır. HPS lambasında renk düzeltilmiş sürümü kullanıldığında CRI değeri 80'e kadar çıkabilir, ancak bu lamba daha az verimli olmaktadır. Sarımsı ışığından dolayı nesnelerin renk farkının kolay ayırt edilemediği HPS lambaların aksine LED'lerdeki beyaz ışık nesnelerin renk farkının ayırt edilmesinde kolaylık sağlar (Tetra Tech EM Inc. 2003).

Şekil 9.2 ve Şekil 9.3'de sırasıyla HPS ve LED sokak lambalarının aynı sokaktaki gece görüntüsünü vermektedir. Her iki fotoğraf karşılaştırıldığında, Şekil 9.2'de gösterilen 250 Wattlık HPS lamba ile aydınlatılan sokak da, HPS lambanın sarımsı ve zayıf bir ışık verdiği açıkça görülmektedir. Buna karşılık, Şekil 9.2'de ise 93 Wattlık LED lamba ile aydınlatılan sokaktaki beyaz ışığın daha canlı ve üstün olduğu görülmektedir.

Şekil 9.1: HPS sokak lambası(250W)



Kaynak: LED lights 2013

Şekil 9.2: LED sokak lambası (93W)



Kaynak: LED lights 2013

10. LED VERİMLİLİĞİ İLE İLGİLİ ÖRNEK UYGULAMALAR

10.1 TÜRKİYE’DE LED DÖNÜŞÜMÜ YAPILMIŞ ÖRNEK UYGULAMALAR

Türkiye’de 2012 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, sokak aydınlatması alanında tasarruf sağlamak için LED teknolojisine geçilmesini gerektiğini belirterek pilot bölgede yapmış oldukları LED dönüşüm uygulamasında yüzde 41’e varan enerji tasarrufu yaptıklarını açıklamıştır. LED aydınlatmadaki teknolojik çalışmalarla yüzde 70’lere kadar enerji tasarrufu yapılabileceğini belirtmiştir (YEGM 2012).

Bu kapsamda Türkiye’nin dört bir yanında LED dönüşümleri yapılmaya başlanmıştır.

10.1.1 Ankara İnönü Bulvarı LED Aydınlatma Uygulaması

Ülkemizde enerji tasarrufu kapsamında, kapsamında, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yapılan bu pilot uygulamada;

Proje kapsamında, LED armatürlerle aydınlatılan direk ve armatür sayısı; toplamda 21 direk, 46 armatürdür. Bunların kısaca dağılımı; 19 direk X 2 = 38 armatür, 2 kavşakta toplamda 2 direk; 4 X 2 = 8 armatürdür.

250W konvansiyonel sodyum armatürlerle(HPS) aydınlatılan İnönü Bulvarında bulunan 19 direkte ve 2 kavşakta bulunan armatürler, LED armatüre dönüştürülmüştür. Pilot Projede, 2 farklı güçte LED armatürü kullanılmıştır (YEGM 2012).

Tablo 10.1: Mevcut HPS armatür ve dönüştürülecek LED armatürün özellikleri

	<i>Mevcut HPS Lambanın Değerleri</i>	<i>Dönüştürülecek LED Lambanın Değerleri</i>	
Lambanın Türü	HPS	LED 1	LED 2
Güç tüketimi (W)	276	159	169
Armatür verimi (LOR)	0,79	0,86	0,86
Armatür etkinlik faktörü (lm/W)	95	101	101
Renksel geriverim endeksi (CRI)	25	70	70

Tablo 10.1'e göre;

Konvansiyonel aydınlatmada(HPS) Harcanan Toplam Enerji

Konvansiyonel aydınlatmada kullanılan armatürler: Sodyum-250W

Armatürün harcadığı toplam güç (balast kayıpları ile birlikte): 276W

Sistem gücü: $276W \times 46 = 12,696 \text{ kWh}$ dır.

LED'li Aydınlatmada Harcanan Toplam Enerji

LED'li aydınlatmadan kullanılan armatürler: 159W, 169W

$159W \times 28 = 4,452 \text{ kWh}$

$169W \times 18 = 3,042 \text{ kWh}$

Toplam Sistem Gücü: 7,494 kWh

Pilot Projede tasarruf oranı

Konvansiyonel Sistemde Harcanan Enerji: 12,696 kWh

LED'li Sistemde Harcanan Enerji: 7,494 kWh

Tasarruf Miktarı: $12,696 - 7,494 = 5,2 \text{ kWh}$

Tasarruf Oranı: $(12,696 - 7,494) / 12,696 = \%41$

Şekil 10.1: HPS lambalarla aydınlatılan eski tesisat



Kaynak: Onaygil 2013

Şekil 10.2: LED dönüşümü yapıldıktan sonra yeni tesisat



Kaynak: Onaygil 2013

10.1.2 Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Eski Gölcük Yolu LED Uygulaması

Şekil 10.3: Dönüşüm yapılmadan önceki hal



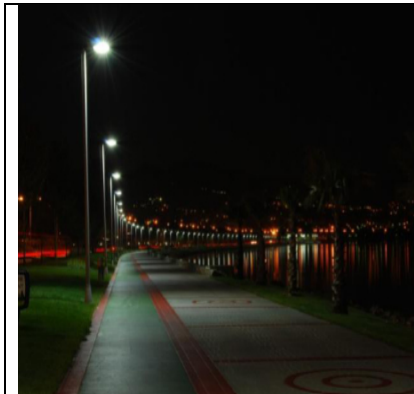
C:\Users\HAYDAR\Desktop\Elisol Presentation1\Slayt2.BMP

Mevcut durumda Kullanılan armatür sayısı 89 adettir.
Sarfiyat Tutarı: 5.083,77 TL

SAKARYA ELEKTRİK DAĞITIM A.Ş. ELEKTRİK FATURASI										SAKARYA ELEKTRİK DAĞITIM A.Ş. İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ	
İŞLETME ADI: KOCALİ										SAKARYA	
VERGİ DAİRESİ: GÖLCÜKÜ Vergi Dairesi										TAHSİL KOÇANI	
VERGİ NO: 7400043797										İŞLETME KODU	
ABONE NO:	DOĞA NO:	SİRA NO:	ABONE TİPİ:			İŞLETME KODU:				41.1.2.2.3	
1001525380	10107_00	84_47	SEKEL AYDINLATMA			41.1.2.2.3				ABONE NO:	
FATURA NO:		FATURA TARİHİ:	İLK OK TARİHİ:	SON OK TARİHİ:	DÖNEM:	AKTİF SAYAÇ NO:	ENDÜKTİF SAYAÇ NO:	KAPASİTEF SAYAÇ NO:		1001525380	
200911200045178		30.01.2009	18.11.2008	15.01.2009	2009/01	4023463	4023463	4023463		DOĞA NO: SİRA NO:	
A		KOCALİ BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ ESKİ GÖLCÜK YOLU 2. ETAP AYDINLATMA									
B		VERGİ DAİRESİ: GÖLCÜK									
C		VERGİ NO: 0484021517									
D		ENERJİ VE GÜÇ BEDELİLERİ TOPLAM									
E		BELEDİYE TÜKETİM VERGİSİ									
AKTİF	SON ENDEKS	İLK ENDEKS	ÇARPIYAN	TÜK. KİMY.	++/- TUKETİM	BİRİM FİYAT (YTL)	AKTİF ENERJİ BEDELİ (YTL)				
GÜNDÜZ	25,000			7,796,000	0,00	0,185469	1.427,45				
PLANT	126,000			0,000	0,00	0,000000	0,00				
GECE	297,000			0,000	0,00	0,000000	0,00				
REAKTİF	SON ENDEKS	İLK ENDEKS	ÇARPIYAN	TÜK. KİMY.	++/- TUK	BİRİM FİYAT (YTL)	REAKTİF ENERJİ BEDELİ (YTL)				
ENDÜKTİF	287,000	254,000	50,000	0,000	0,00	0,000000	0,00				
KAPASİTEF	13,000	1,000	50,000	0,000			0,00				
GÜÇ	MAK. DEMANET	ÇARPIYAN	TÜKETİM KİMY.	++/- TUK	BİRİM FİYAT (YTL)	GÜÇ BEDELİ (YTL)					
FİLLİ GÜÇ	0,000						0,00				
SÖZ GÜCÜ	--						0,00				
GÜÇ KİMY.	--						0,000000				
TEBİLÜ TARİHİ							05.01.2009				
SON ÖDEME TARİHİ							27.02.2009				
SAYIN ABONEMİZ							Diyadinizle ilgili TL. DoksanSekiz Kr.				
İşbu fatura tutarını							son ödeme tarihinde katar				
27.02.2009											
Tun Aizaynala Buzaklar PIT, SİMAZ ve Saniciler katar aynı banka hesabına gecipin pekitir											
+MÜDDETLER+ kaydiyla havale etmeniz gerekmektedir. Aksi takdirde toplam tutara tutan iszerim pekitir											
ozusu iszerim zoruyla kacakunuz Gecikme ozusu geciktirmen hesaplanip suruende yuzdeiki											
tarife esastirina gora hesaplanir ve ayrica KDV ile birlikte Kurum veznesinde tahsil edilir											
LUTTEN FATURASI İZBIRANAMESİ ARKASINDAKİ ÖNEMLİ NOTLAR BÖLÜMÜNÜ OKUYUNUZ											
Kurumumuz Y.U.K. Tarihindeki Kurumlarim ile degildir											

Kaynak: Elisolar 2013

Şekil 10.4: Dönüşüm yapıldıktan sonraki durum



LED dönüşümü yapıldıktan sonraki,
Sarfiyat Tutarı: 1.752,98 TL
Tasarruf Miktarı: 3.330,79
Tasarruf Oranı: % 65,51

SAKARYA ELEKTRİK DAĞITIM A.Ş. ELEKTRİK FATURASI										SAKARYA ELEKTRİK DAĞITIM A.Ş. İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ	
İŞLETME ADI: KOCALİ										SAKARYA	
VERGİ DAİRESİ: GÖLCÜKÜ Vergi Dairesi										TAHSİL KOÇANI	
VERGİ NO: 7400043797										İŞLETME KODU	
ABONE NO:	DOĞA NO:	SİRA NO:	ABONE TİPİ:			İŞLETME KODU:				41.1.2.2.3	
1001525380	10107_00	84_47	SEKEL AYDINLATMA			41.1.2.2.3				ABONE NO:	
FATURA NO:		FATURA TARİHİ:	İLK OK TARİHİ:	SON OK TARİHİ:	DÖNEM:	AKTİF SAYAÇ NO:	ENDÜKTİF SAYAÇ NO:	KAPASİTEF SAYAÇ NO:		1001525380	
200911200045178		30.01.2009	18.11.2008	15.01.2009	2009/01	4023463	4023463	4023463		DOĞA NO: SİRA NO:	
A		KOCALİ BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ ESKİ GÖLCÜK YOLU 2. ETAP AYDINLATMA									
B		VERGİ DAİRESİ: GÖLCÜK									
C		VERGİ NO: 0484021517									
D		ENERJİ VE GÜÇ BEDELİLERİ TOPLAM									
E		BELEDİYE TÜKETİM VERGİSİ									
AKTİF	SON ENDEKS	İLK ENDEKS	ÇARPIYAN	TÜK. KİMY.	++/- TUKETİM	BİRİM FİYAT (YTL)	AKTİF ENERJİ BEDELİ (YTL)				
GÜNDÜZ	27,000	25,000	50,000	7.796,000	0,00	0,185469	1.427,45				
PLANT	180,000	126,000	50,000	0,000	0,00	0,000000	0,00				
GECE	305,000	297,000	50,000	0,000	0,00	0,000000	0,00				
REAKTİF	SON ENDEKS	İLK ENDEKS	ÇARPIYAN	TÜK. KİMY.	++/- TUK	BİRİM FİYAT (YTL)	REAKTİF ENERJİ BEDELİ (YTL)				
ENDÜKTİF	287,000	254,000	50,000	0,000	0,00	0,000000	0,00				
KAPASİTEF	13,000	1,000	50,000	0,000			0,00				
GÜÇ	MAK. DEMANET	ÇARPIYAN	TÜKETİM KİMY.	++/- TUK	BİRİM FİYAT (YTL)	GÜÇ BEDELİ (YTL)					
FİLLİ GÜÇ	0,000						0,00				
SÖZ GÜCÜ	--						0,00				
GÜÇ KİMY.	--						0,000000				
TEBİLÜ TARİHİ							05.01.2009				
SON ÖDEME TARİHİ							27.02.2009				
SAYIN ABONEMİZ							Diyadinizle ilgili TL. BirsakSekiz Kr.				
İşbu fatura tutarını							son ödeme tarihinde katar				
27.02.2009											
Tun Aizaynala Buzaklar PIT, SİMAZ ve Saniciler katar aynı banka hesabına gecipin pekitir											
+MÜDDETLER+ kaydiyla havale etmeniz gerekmektedir. Aksi takdirde toplam tutara tutan iszerim pekitir											
ozusu iszerim zoruyla kacakunuz Gecikme ozusu geciktirmen hesaplanip suruende yuzdeiki											
tarife esastirina gora hesaplanir ve ayrica KDV ile birlikte Kurum veznesinde tahsil edilir											
LUTTEN FATURASI İZBIRANAMESİ ARKASINDAKİ ÖNEMLİ NOTLAR BÖLÜMÜNÜ OKUYUNUZ											
Kurumumuz Y.U.K. Tarihindeki Kurumlarim ile degildir											

10.1.3 İstanbul AYEDAŞ, Maltepe Toros Caddesi LED Aydınlatma Uygulaması

İstanbul Maltepe ilçesindeki 35 adet Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı armatür sökülerek yerine LED armatürler takılmıştır.

Şekil 10.5: Toros caddesi dönüşüm resimleri



Kaynak: Elisolar 2013

Mevcut sistemdeki armatürlerde 250W'lık Sodyum(HPS) lambalar kullanılmaktadır.

Dönüşüm yapılacak LED armatürler 120W seçilmiştir.

Tasarruf Miktarı(Yıllık): 7.559,20 TL

Bakım Masrafı ile: 12.809,20 TL

Tablo 10.2: Maltepe LED dönüşümü enerji tablosu

Kullanılan Sistem	Çekilen Güç	kW Başına Ödenen Tutar	Günlük Tüketim	Aylık Tüketim	Yıllık Tüketim	Yıllık Bakım Masrafı
Mevcut Aydınlatma	11.550W	0,25 TL	34,65 TL	1.039,50 TL	12.474,00 TL	5.250,00 TL
LED Aydınlatma	4.550W	0,25 TL	13,65 TL	409,50 TL	4.914,80 TL	00,00 TL
Mevcut Aydınlatma ile LED Aydınlatma arasındaki Fiyat Farkı			21,00 TL	630,00 TL	7.559,20 TL	5.250,00 TL

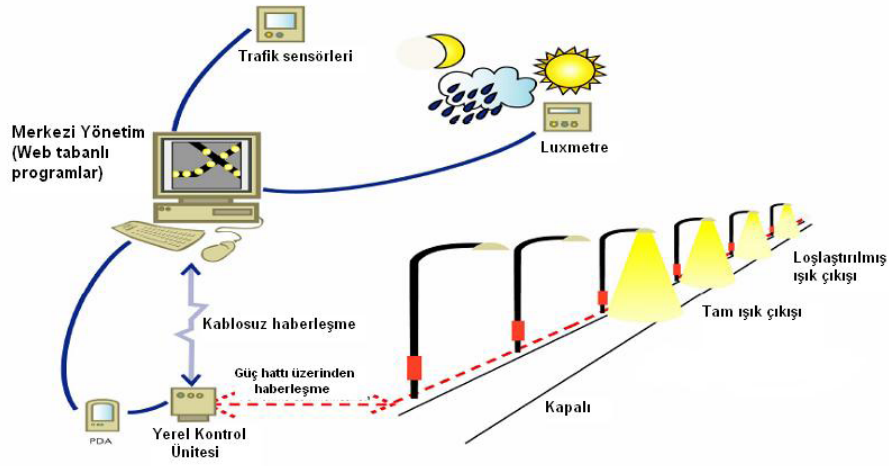
Kaynak: Elisolar 2013

10.2 DÜNYADA LED DÖNÜŞÜMÜ YAPILMIŞ UYGULAMALAR

10.2.1 Haarlemmermeer (Hollanda) Led Aydınlatma Uygulaması

Hollanda Haarlemmermeer’de yapılan bu uygulamada, 9 metre yükseklikli direklerdeki 100W HPS’li armatürler, 75W LED’li armatürlerle değiştirilmiştir. Tesisat devreye girdikten sonra saat 19.00’a kadar tam ışık akısında çalışmakta, daha sonra ışık akıları, dimmerleme devresi ile, 19.00 – 23.00 arası yüzde 10, 23.00 – 06.00 arası da yüzde 30 oranında loşlaştırılmaktadır. Yolun geometrisi ve aydınlatma kalitesi hakkında bilgiye ulaşılabilen uygulamada, enerji tasarruf oranının yüzde 52 olduğu ve basit geri ödeme süresinin de 6.8 yıl olarak hesaplandığı açıklanmaktadır (Onaygil 2013).

Şekil 10.6: Aydınlatma projesi



Haarlemmermeer LED dönüşüm uygulamasında, Şekil 10.6’da gösterilen otomasyon sistemi kurularak sağlanacak enerji tasarruf oranını arttıracak entegre tesisatların yapılması hedeflenmektedir.

Şekil 10.7: Haarlemmermeer fotoğrafı



10.2.2 North Carolina(ABD), LED Aydınlatma Uygulaması

Mevcut 9 tane 250 Wattlık Sodyum lamba(HPS), 167 Wattlık LED armatüre dönüştürülmüştür. HPS armatürlerini fiyatı 70 \$ iken kullanılan LED armatürlerin fiyatı 485 \$ dır.LED dönüşümü yapıldıktan sonra, yol üzerindeki aydınlık düzeyi yüzde 51, kaldırımlardaki aydınlık düzeyi ise yüzde 8 oranında azalmıştır. LED armatürler sokaktaki toplam aydınlık düzeyini yüzde 43 oranında düşürmüştür. Aydınlık düzeyi düşmesine rağmen LED’li armatürlerin yüksek renk sıcaklığı ve yüksek renksel geriverim indeksi nedeniyle görülebilirliğin arttığı ve renklerin daha iyi seçildiği ifade edilmektedir. Sistemin toplam kurulu gücündeki tasarruf oranı yüzde 42 olarak belirlenmiştir (Onaygil 2013).

Şekil 10.8: North Carolina HPS ve LED armatür ile aydınlatma fotoları



Kaynak: Onaygil 2013

11. LED & HPS TEST ÖLÇÜMÜ SONUÇLARI

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Park Bahçe ve Yeşil Alanlar Daire Başkanlığı Yeşil Alan ve Tesisler Yapım Müdürlüğü Avrupa Yakası Aydınlatma Şefliği bünyesinde gerçekleştirilen bu çalışma için, daha önceden yapılan görüşmeler ve fikir alışverişleri sonucunda yapılacak ölçümlerin yol haritası belirlenmiş ve gerekli dokümantasyonlar sağlanmıştır.

Ölçüm çalışmalarına başlamadan cihazların konumlandırılacağı ve ölçümlerin sağlıklı ve kararlı bir şekilde yapılacağı mekan belirlenmiştir. Bunun için kapalı bir oda ortamı seçilerek normal odanın ışık yoğunluğu altında çalışma gerçekleştirilmiştir.

Şekil 11.1 İBB Yeşil alan ve Tesisler Yapım Müdürlüğü



108 Wattlık LED Armatür ile 250 ve 400 Wattlık Sodyum Buharlı (HPS) armatür düzenekleri odanın aynı noktasında muhtelif bir yere sırasıyla yerleştirilerek ölçümler yapılmıştır. Aydınlatma akısı (Lux) değerinin ölçüleceği nokta ise cihazlara 2 metre yatay bir uzaklıkta belirlenerek cihazların ışık yoğunluğu bu noktaya yaklaşık 90 derecelik açıyla düşecek şekilde sabitlenmiştir.

Şekil 11.2: Ölçümü yapılacak LED armatürün fotoğrafı



Şekil 11.3: Ölçümü yapılacak HPS armatürün fotoğrafı



Ölçümlerde; gerilim, akım, aktif güç, reaktif güç, görünür güç, güç faktörü, frekans parametrelerinin ölçümü için Şekil 11.4'de gösterilen “Dijital Network Analizörü” kullanılmıştır. Ayrıca aydınlatma şiddetinin ölçümü ise “Dijital Lüxmetre” ile yapılmıştır. Ölçü aletlerinin kullanımı ve bağlantıları da yine uzman kişilerin gözetiminde gerçekleştirilmiştir.

Şekil 11.4: Lüksmetre ve Network Analizör cihazları



Bağlantıların yapılarak bütün kontroller yapıldıktan sonra LED lambanın parametrelerinin ölçülmesi ile çalışmanın asıl uygulama safhasına geçilmiştir. Dijital analizörden okunan anlık çeşitli veriler tek tek kaydedilmiştir. Aydınlatma şiddetini de ölçmek için ışığın yönlendirildiği belirlenen noktada dijital lüksmetre ile ölçümler anlık alınarak kaydedilmiştir.

Şekil 11.5: Işık şiddetinin ölçülmesi



HPS tipi lambalarımız için de yine bağlantılar ve kontroller yapıldıktan sonra dijital analizör ile parametreler ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Ancak sodyum buharlı lambaların çalışma esasına göre cihazın etkin aydınlatma şiddetine ulaşması belli bir gecikme ile olmaktadır. Bu yüzden ölçümler ilk çalışma anında ve tam çalışma zamanı olarak belirlenen 5. dakikadan sonraki değerlerin ölçülmesi ile tamamlanmıştır. Elde edilen ölçüm değerleri Tablo 11.1'de verilmiştir.

Ölçümlerde elde edilen değerler, 50 Hz frekans ve yaklaşık 230 V besleme gerilimi altında LED armatür için 0.48A akım çekmiş olup 102,9W güç harcamış buna karşılık 1276 lux aydınlatma şiddeti meydana getirmiştir.

250 W HPS armatür için ilk çalışma anında 1.42A akım çekmiş ve 132,3W güç harcayarak 212 lux aydınlatma şiddeti vermiştir. Ancak cihaz sürekli çalışma moduna geçmediği için hem yüksek akım çekmiş hem de nominal çalışma aktif güç değerinin altında bir güç harcamıştır. Buna paralel olarak da aydınlatma şiddeti düşük seviyede kalmıştır. 5. dakika itibariyle yapılan ölçümler cihazın sürekli çalışma evresine geçmiş olmasıyla çektiği akım değeri 1.36 A değerine gerilemiş ve harcanan aktif güç de reaktif gücün azalması yani güç faktörünün “1” değerine yaklaşmasıyla artmış ve nominal güç değerine yakın 275 W olarak ölçülmüştür. Yine harcanan güçle paralel aydınlatma şiddeti de 1420 lux değerine çıkmıştır.

Tablo 11.1: Ölçüm karşılaştırma tablosu

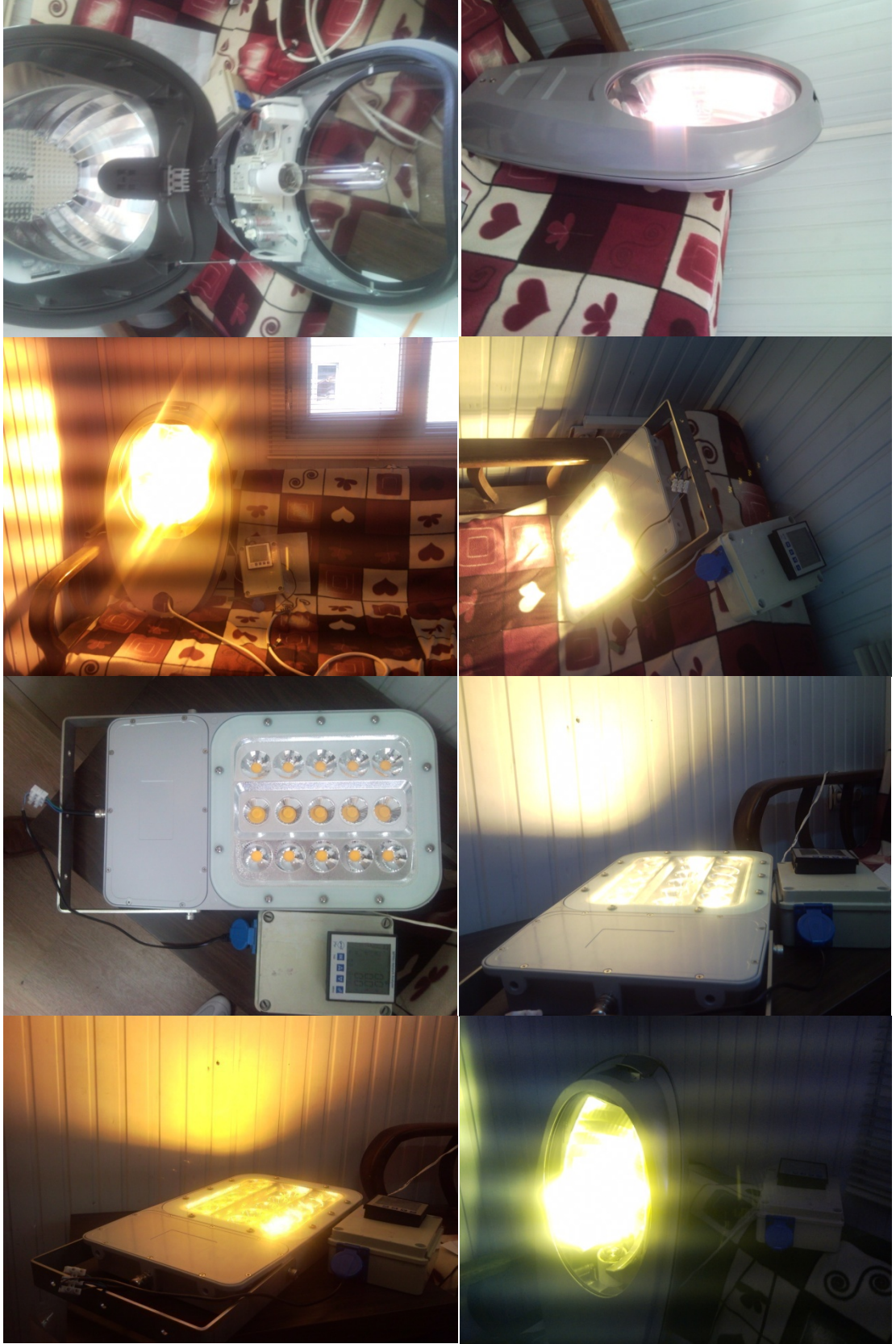
Ölçülen Değerler	108 W LED Armatür (LED-108)	250 W Sodyum Buharlı Armatür		400 W Sodyum Buharlı Armatür	
	Sürekli Çalışma	İlk Çalışma Anı	5.dk'dan Sonra	İlk Çalışma Anı	5.dk'dan Sonra
GERİLİM (V)	233.1	228.2	230.6	229.6	231.3
AKIM (A)	0.48	1.42	1.36	2.94	2.41
AKTİF GÜÇ (W)	102.9	132.3	275	237.3	451.5
REAKTİF GÜÇ (VAr)	37,8 kapasitif	289	138 indüktif	596 indüktif	310,8 indüktif
GÖRÜNÜR GÜÇ (VA)	109.2	327	319	657	560.7
GÜÇ FAKTÖRÜ (Cosφ)	0,94 kapasitif	0,39 indüktif	0,87 indüktif	0,33 indüktif	0,81 indüktif
FREKANS(Hz)	50	50	50	50	50
AYDINLATMA AKISI(Lux)	1276	212	1420	200	2700

400 W HPS armatür içinse ilk çalışma anında 2.94 A akım çekilmiş ve 237,3 W aktif güç harcanarak 200lux aydınlatma şiddeti oluşmuştur. Cihaz sürekli çalışma safhasına girmesiyle çekilen akım 2.41 A değerine gerilemiş çekilen aktif güç, reaktif gücün azalması yani güç faktörünün yükselmesiyle 451,5 W seviyesine çıkmış aydınlatma şiddeti ise 2700 lux düzeyindedir.

LED Armatürler Çekilen Güç – Elde Edilen Aydınlatma Şiddeti oranına bakıldığı zaman HPS Armatürlere göre çok daha verimli çalıştıkları gözlemlenmiştir. Bunun yanında, LED armatürün ısınmadığı, HPS armatürlerin aşırı ısındığı tespit edilerek, HPS Armatürlerin sarımsı ışık verdiği, LED armatürün ise beyaz ışık verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca LED Armatürlerde başlangıç anında HPS armatürlerde olduğu gibi yüksek akım çekilmesi meydana gelmemektedir. Bu hem cihazın kullanım ömrü hem de enerji tasarrufu açısından önemli başka bir husustur.

Yapılan bu ölçümler sonucunda 108 Wattlık LED Armatür 102,9 W güç çekerek 1276 lux aydınlatma sağlarken 250 Wattlık HPS Armatür yaklaşık 2,5 katı güç harcayarak, 275 W ile 1420 lux aydınlatma sağlamaktadır. Bu bulgular gösteriyor ki, 108 Wattlık LED armatürün vermiş olduğu ışık şiddeti, 250W'lık HPS lambanın vermiş olduğu ışık şiddetine yakın bir değerdedir. LED armatürlerin renksel geriverimi ve renk sıcaklığı daha yüksek olduğundan ve vermiş olduğu beyaz ışığın algıyı yükseltmesi sebebiyle, uygulamalarda 250 Wattlık HPS armatür yerine 108 Wattlık LED armatür kullanmak doğru olacaktır.

Şekil 11.6: Ölçüm sahasında çekilen fotoğraflar



12. SOKAK AYDINLATMASINDA LED DÖNÜŞÜMÜ ÖRNEK ÇALIŞMASI

Aydınlatma sektöründe kullanımı yaygınlaşan LED lambalar, sağladığı avantajlar ve bir çok üstünlükleri nedeniyle son yıllarda sokak aydınlatmasında kullanımı yaygınlaşmıştır. Enerji bakanlığın 2012 yılında pilot bir bölgede LED dönüşümü yaparak sonuçlarını yayınladıktan sonra, LED lambaların ülkemiz genelinde dönüşüm çalışmaları hız kazanmış, birçok sokak, cadde ve parklarda uygulamaya konulmaya başlanmıştır. Daha önce de konuyla ilgili yapılan fayda-maliyet analizleri, bu dönüşümlerin ciddi kazanımlar sağlandığını ortaya koymuştur.

12.1 ÇALIŞMANIN AMACI

Enerji bakanlığının 2012 yılındaki açıklamalarına göre, “Türkiye’de sokak aydınlatmasında kullanılan 17 milyon tane sokak lambası vardır. 17 milyon lamba, yıllık 650 milyon liralık enerji harcanmaktadır. Bu miktar, LED dönüşümü yapıldığında, 150 milyon liralara kadar düşürülüp her yıl 500 milyon liranın tasarruf edilebileceği tahmin edilmektedir” denmektedir. Bu kapsamda yapmış olduğum çalışmanın amacı; halihazırda sokak aydınlatılmasında kullanılan yüksek basınçlı sodyum buharlı sokak lambalarının yerine, eşdeğer aydınlatmayı sağlayacak LED lambalar kullanarak, enerji tasarruf oranını, kurulum maliyetini ve sistemin kendini amorti etme süresini hesaplayarak, LED dönüşümünün uygunluğunu analiz etmektir.

12.2 ÇALIŞMA SAHASI

LED dönüşüm uygulamasının yapılacağı saha, İstanbul’un merkezi yerlerinden biri olan Fatih ilçesinin Saraç İshak mahallesidir. Fatih ilçesinin 57 mahallesinden biri olan **Saraç İshak Mahallesi**, 41.006496 enlem ve 28.963926 boylamda yer alıp, nüfusu yaklaşık 4000 kişidir. Mahalle sınırlarında 4 cadde ve 28 sokak bulunmaktadır. İdari sınırlarına bakıldığında kuzeyinde Mimar Kemalettin; batısında Nişanca; doğusunda Mimar Hayrettin; güneyinde ise Muhsine Hatun mahalleleri bulunmaktadır. Şekil 12.1 ve Şekil 12.2’de çalışma sahasına ait haritalara yer verilmiştir.

Şekil 12.1: İstanbul Fatih ilçesi sınırları



Kaynak: İBB 2013

Şekil 12.2: Fatih ilçesine bağlı Saraç İshak mahallesi sınırları



Kaynak: İBB 2013

12.2.1 Çalışma Sahasının Seçimi

İstanbul'un en eski yerleşim yeri olan Fatih ilçesi, bu özelliği sebebiyle tarihi ve kültürel birçok öğeyi bünyesi barındırmakta yerli yabancı turistlerin ilgi odağı olmaktadır.

İşte bu çerçevede Fatih ilçesinde yapılmış dış mekan sokak aydınlatma çalışmalarında, özellikle turistik bölgeler, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Şehir Aydınlatma Müdürlüğü ve Fatih Belediyesi tarafından gerçekleştirilmiştir. Birçok mahallenin cadde ve sokaklarındaki aydınlatma direk ve armatürlerinde yenilemeye giderek, Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı armatürler kullanılmıştır. Ancak bu çalışmaya konu olan Saraç İshak Mahallesi ise gerek konumu gerekse turistik değer taşıyan bölgeler içermemesi sebebiyle dış mekan aydınlatmalarında daha atıl kalmıştır.

Saraç İshak mahallesinde bulunan direk ve armatürlerde, İstanbul Büyükşehir Belediyesi ve Fatih ilçe belediyesi tarafından çok az bir yenileme yapılmış olduğundan, bu açıdan bakıldığında; İstanbul ve tüm Türkiye'deki elektrik dağıtım kurumları tarafından işletilen sokak aydınlatılmasının durumunu temsil etmektedir. Bu yüzden Türkiye'deki diğer mahallelerin sokak aydınlatma yapısını yansıttığı için tercih edilmiştir.

Ayrıca çalışma sahası olan Saraç İshak Mahallesinde yapılan inceleme ve gözlemlerde, bu mahallede kullanılan armatürlerin, Şekil 12.3'de gösterildiği gibi, oldukça eski ve yıpranmış oldukları, camlarının kırık, reflektörlerinin kaymış ve kırılmış oldukları gözlemlenmiştir. Bu sebeple LED dönüşümüne ihtiyacı olan mahalleler arasında ilk önceliğe sahip, acil bölgelerden biri olması sebebiyle bu mahallede çalışma yapılmıştır.

İstanbul ve Türkiye genelindeki elektrik dağıtım kurumları tarafından işletilen cadde-sokak aydınlatma sistemleri düşünüldüğünde, çalışmaya konu olan bu pilot mahallenin seçiminin ne kadar yerinde olduğu bilinmelidir.

Şekil 12.3: Çalışma sahasının aydınlatma armatürlerinin durumu



12.2.2 Çalışma Sahasının Durumu

Ülkemizde, TEDAŞ sorumluluğundaki yol aydınlatmalarında, Eylül 2006'dan itibaren civa buharlı lambaları yasaklanmış, sokak aydınlatılmasında sadece Yüksek Basınçlı Soydum Buharlı lambaların kullanımını zorunlu hale getirilmiştir. Bu nedenle, Saraç İshak mahallesindeki tüm armatürlerde Sodyum Buharlı lamba bulunmaktadır. Toplamda 106 direk, 108 armatürde Yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba kullanılmaktadır.

Saraç İshak mahallesinde sokak aydınlatmasında kullanılan armatürlerin bir çoğunun Şekil 12.3'te gösterildiği gibi eski ve yıpranmış oldukları, camlarının kırık olduğu, reflektörlerinin kaymış veya olmadıkları gözlemlenmiş, kullanım ömürlerini doldurdukları tespit edilmiştir.

12.2.3 Çalışma Sahasından Fotoğraflar

Şekil 12.4: Saraç İshak mahallesinden fotoğraflar



12.3 KULLANILAN YÖNTEM

Yeni nesil teknoloji olarak değerlendirilen LED lambaların dış mekan aydınlatmalarda kullanımı ve bu kullanım sonucu elde edilecek enerji tasarrufu ile buna bağlı olarak yapılacak maliyet analizi ve sistemin kendini amorti etme süresi, bu çalışmanın konusu olmuştur.

Çalışmanın uygulama kısmında, öncelikle Yüksek Basıncılı Sodyum buharlı armatürlerin bulunduğu bir pilot bölge (Fatih ilçesi Saraç İshak Mahallesi) belirlenmiştir.

Bölgedeki aydınlatma direk ve armatürlerin çeşidi, sayısı, güçleri, coğrafi konumları ile ilgili veriler BEDAŞ (Boğaziçi elektrik Dağıtım Anonim Şirketi) Beyazıt İşletme Müdürlüğü ile yapılan görüşmeler sonucunda temin edilmiştir. Ayrıca belirlenen bölgeye bizzat gidilerek; yerinde ön incelemeler yapılmış, notlar alınmış ve aydınlatma direk ile armatürlerinin fotoğrafları çekilmiştir.

BEDAŞ Beyazıt İşletme Müdürlüğünden elde edilen bu veriler daha sonra bilgisayar ortamında harita tabanlı verilerin işlendiği ArcGIS ArcMap 10.1 uygulamasına aktarılmış, bölgenin uydu fotoğrafları ve mahalle sınır katmanı eklenerek oluşturulan harita üzerinde, direklerin konumları, lambalarının güç değerleri, direk ve armatür tipleri incelenmiştir.

Pilot bölge için tamamlanan ön çalışmadan sonra BEDAŞ Beyazıt İşletme'den teknik bir personel eşliğinde akşam saatlerinde uygun hava koşullarında bölgeye gidilerek tek tek belirlenen aydınlatma direklerinin elektronik ölçüm cihazıyla, faturaya yansıtacak olan aktif güç değerleri ölçülmüştür. Ölçülen değerler kayıt altına alınmıştır.

Dönüşümde kullanılacak olan LED lambaların seçimi konusunda ise faal olarak çalışmaları olan İstanbul Büyükşehir Belediyesi Yeşil Alanlar Yapım ve Tesisler Müdürlüğü ile görüş alışverişinde bulunulmuştur. Buradan elde edilen dokümanlar ve kataloglar ile çalışmada kullanılacak LED armatürlerin güç ve aydınlatma şiddeti değerleri belirlenmiştir. Ayrıca LED armatürlerin seçimi konusunda, mevzu bahis olan

LED markasının İstanbul'da bulunan ithalatçı firması ile de görüşmeler bulunularak, sistemin ihtiyacını karşılayacak en uygun güçteki LED armatürler seçilmiştir.

Yapılan bu değerlendirmelerin ardından İBB Yeşil Alanlar Yapım ve Tesisler Müdürlüğünde ilgili bir teknik personelin nezdinde, seçilen güçteki LED armatürlerin gerekli bağlantıları uygun ortam ve koşullarında yapılarak, Dijital Analizör ile faturaya yansıtılacak olan aktif güç değerleri ölçülmüştür.

Bütün bu yapılan ölçümler ve toplanmış veriler sonucunda, gerekli hesaplamalar yapılarak çalışma sahasının, LED dönüşümü yapılması durumunda, elde edilecek enerji tasarrufu oranı hesaplanmıştır. Yine Üretici LED Firmasından, çalışma sahasının dönüşümünde kullanılacak LED armatürlerin fiyatları öğrenilerek kurulum maliyeti çıkartılmıştır. En son olarak da yıllık enerji tasarruf bedeli çıkartılarak, sistemin kendini amorti etme süresi hesaplanmıştır.

12.3.1 Direk ve Armatürlerin Sayısı ve Konumu

Saraç İshak mahallesinde bulunan aydınlatma direklerin coğrafi konumları ve üzerindeki armatür bilgileri BEDAŞ Beyazıt İşletme Müdürlüğünden .gdb formatında temin edilip bir katman olarak Arcmap 10.1 programına yüklenmiştir.

106 adet Yüksek Basıncılı Sodyum Buharlı lambaların bulunduğu aydınlatma direği olduğu, 2 adet direkte ise çift armatür kullanılmış olduğundan, toplam 108 adet armatür bulunduğu, gerek Şekil 12.5'de gösterildiği gibi ArcMap programındaki verilerden, gerekse mahalledeki ilgili yerlerde yapılan gözlemlerden tespit edilmiştir.

Şekil 12.5: Saraç İshak mahallesi aydınlatma direk yerleri

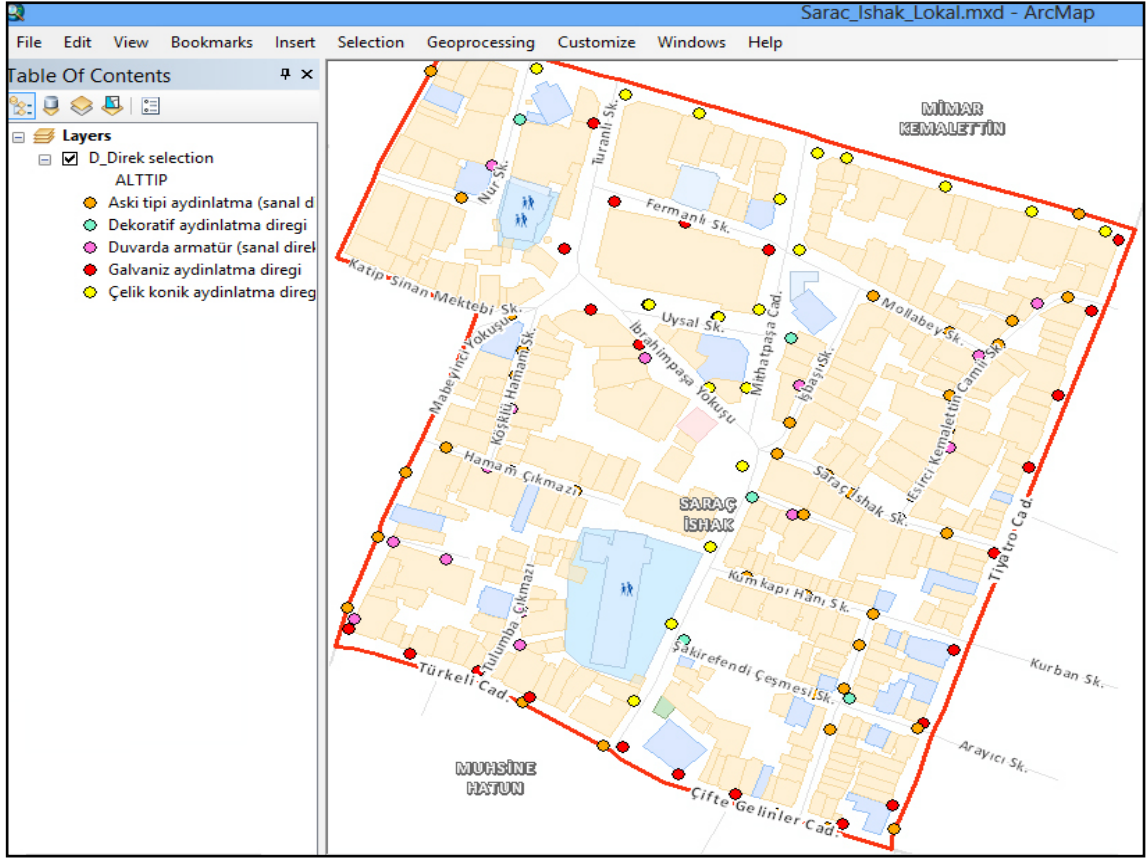


Kaynak: IBB 2013

12.3.2 Direk Tipleri

BEDAŞ Beyazıt İşletme Müdürlüğünden alınan veriler, ArcMap 10.1 programına atıldıktan sonra, direk tipleri Şekil 12.6'daki gibi renklendirilip yerleri ve sayıları tespit edilmiştir. Daha sonra sahaya inilerek aydınlatma direkleri ve armatürlerinin fotoğrafları çekilip direk tiplerine göre sınıflandırılarak, adet sayıları Tablo 12.1 elde edilmiştir.

Şekil 12.6: Saraç İshak Mahallesi direk tipleri haritası



Kaynak: İBB 2013

Tablo 12.1: Saraç İshak mahallesi direk tipleri tablosu

DİREK TİPİ	ARMATÜR TİPİ	ADET 250W	ADET 125W	ADET 100W	TOPLAM DİREK SAYISI	ÇİFT ARMATÜRLÜ DİREK SAYISI	TOPLAM HPS LAMBA SAYISI
Askı tipi aydınlat. (sanal direk)	Dekoratif armatür	18	-	-	18	-	18
Askı tipi aydınlat. (sanal direk)	Askı tip armatür	25	-	-	25	-	25
Dekoratif aydınlatma direği	Dekoratif armatür	4	-	3	7	2	9
Duvarda armatür (sanal direk)	Standart armatür	13	1	-	14	-	14
Galvaniz aydınlatma direği	Standart armatür	16	7	-	23	-	23
Çelik konik aydınlatma direği	Standart armatür	19	-	-	19	-	19
GENEL TOPLAM		95	8	3	106	2	108

Kaynak: BEDAŞ 2013

12.3.3 Armatür Tipleri

LED dönüşümünde kurulum maliyetlerini hesaplayabilmek için armatür türlerinin konumları ArcMap 10.1 programına yüklenmiş olan bölge verilerinden tespit edilerek mahalleye gidilmiş ve fotoğrafları çekilerek Şekil 12.7'deki sınıflandırma yapılmıştır.

Şekil 12.7: Direk tipleri

	
Askı tipi direk Askı tipi armatür	Askı tipi direk Dekoratif armatür
	
Dekoratif Aydınlatma Dekoratif Armatür	Duvarda Armatür Standart armatür
	
Galvanizli Aydınlatma direği Standart Armatür	Çelik Konik Aydınlatma Direği Standart armatür

12.3.4 Dönüşüm Yapılacak LED Armatür Seçimi

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Yeşil Alanlar Yapım ve Tesisler Müdürlüğünde yapılan ölçümlerde (bkz: 11.konu) varılan sonuçlara dayanarak dönüşümde kullanılacak olan LED armatürlerin seçimi konusunda bir fikre sahip olunmuştur. Yine LED armatürlerin seçimi için uzman kişilerle yapılan görüş alışverişi sonucunda ve çeşitli LED üretici firmalar ile yapılan görüşmeler sonucunda; 250W, 125W ve 100W'lık HPS armatürler yerine kullanılacak en uygun güçteki LED armatürler seçilerek Tablo 12.2'deki dönüşüm tablosu oluşturulmuştur.

Tablo 12.2: Eşit aydınlatma şiddeti üretecek LED armatürler tablosu

Mevcut HPS armatürler			Dönüşüm için Seçilen LED armatürler		
Markası	Tükettiği Güç	Işık Verimi(Lümen)	Markası	Tükettiği Güç	Işık Verimi(Lümen)
S-250	250W	16000	LED-108	108W	14000
C-250	250W	16000	LED-108	108W	14000
C-125	125W	9100	LED-75	75W	9750
C-100	100W	7600	LED-75	75W	9750

Bu seçim yapılırken, piyasada sık kullanılan verim/fiyat oranı makul olan belirli bir markaya sahip LED armatür seçilmiştir. Ölçüm uygulamasından çıkan sonuçlar ile katalog değerleri yakın olan LED armatürler tercih edilmiştir. Tablo 12.2'de, ışık verimlerinin yaklaşık olarak eşit olduğu görülmektedir.

Şekil 12.8: Dönüşüm için seçilen LED armatür



12.3.5 Armatürlerin Harcadıkları Güç Ölçümü

Ölçümlerde; gerilim, akım, aktif güç, reaktif güç, görünür güç, güç faktörü, frekans parametrelerinin ölçümü için “Network Analyser” dijital analizörü kullanılmıştır.

Şekil 12.9: Network Analizör cihazı



Dönüşümde kullanılacak olan seçilmiş LED lambaların ölçümleri İBB Yeşil Alanlar ve Tesis Yapım Müdürlüğünde Yapılmıştır. Mevcut çalışma sahasındaki Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı lambaların güç ölçümleri ise, Saraç İshak Mahallesinde direkler üzerinde yapılmıştır. Saraç İshak Mahallesinde bulunan armatürlerin 250W, 125W ve 100W’lık lambaların, Network Analizör cihazıyla ölçülen sonuçları aşağıdaki Tablo 12.3’de görülmektedir. HPS armatürlerde balast kayıpları olduğundan ölçülen değer, katalog değerinden yüksek çıkmıştır.

Tablo 12.3: Mevcut ve dönüştürülecek armatürlerin enerji ölçüm sonuçları

Mevcut HPS armatürler			Dönüşüm için Seçilen LED armatürler		
Markası	Katalog Güç Değeri	Ölçülen Güç	Markası	Katalog Güç Değeri	Ölçülen Güç
S-250	250W	275 W	LED-108	108W	103W
C-250	250W	279W	LED-108	108W	103W
C-125	125W	148W	LED-75	75W	73W
C-100	100W	121W	LED-75	75W	73W

12.4 ENERJİ TASARRUFU

Çalışma sahasındaki mevcut Yüksek basınçlı Sodyum buharlı Lambalı armatürlerin, sahada ölçülen çekmiş olduğu güç değerleri, adet sayısı ile çarpılarak tüm mahallede bulunan direklerin harcamış olduğu enerji hesaplanmıştır. Tablo 12.4’de sonuçları gösterilmiştir

Tablo 12.4: Sodyum buharlı lambaların tüketmiş olduğu toplam güç

Markası	Harcadığı Güç(Ölçülen)	Adedi	Toplam Güç
S-250 (250W)	275W	19	5225W
C-250 (250W)	279W	76	21204W
C-125 (125W)	148W	8	1184W
C-100 (100W)	121W	5	605W
Toplam Harcanan Güç			28212W

LED dönüşümü yapılması durumunda, çalışma mahallesinde harcanacak güç değeri Tablo 12.5’de gösterilmiştir.

Tablo 12.5: LED dönüşümü yapıldığında tüketmiş olacağı toplam güç

Markası	Harcadığı Güç(Ölçülen)	Adedi	Toplam Güç
LED-108 (108W)	103W	95	9785W
LED-75 (75W)	73W	13	949W
Toplam Harcanan Güç			10734W

Saraç İshak Mahallesinde bulunan toplam 108 HPS armatürün harcamış olduğu toplam güç 28212W’tır. LED armatür dönüşümü uygulandığında ise mahallede harcanılacak toplam güç 10734W olarak hesaplanmaktadır.

Tasarruf miktarı=(Sistemden çekilen Güç-LED Dönüşüm Sonrası Çekilen Güç) olarak formülize edilirse;

$$\text{Tasarruf Miktarı}=28212\text{W}-10734\text{W}=17478\text{W}=17,478\text{kW}$$

Enerji Tasarrufu Oranı=[(Sistemden çekilen Güç-LED Dönüşüm Sonrası Çekilen Güç)/Sistemden Çekilen Güç] x 100 şeklinde formülize edersek;

$$\text{Enerji Tasarruf Oranı}=[(28212\text{W}-10734\text{W})/ 28212\text{W}] \times 100= \% 62 \text{ olmaktadır.}$$

12.5 KURULUM MALİYETİ

Mevcut dönüşümde, 250W'lık Yüksek Basıncılı Sodyum lambalı armatürler yerine, aynı ışık verimini veren LED-108 marka 108 Wattlık LED armatür kullanılacaktır. Dönüşümü yapılacak 250W'lık lamba sayısı 97 tanedir.

Yine 125W ve 100W'lık Yüksek basıncılı Sodyum lambalı armatürler yerine ise, aynı ışık verimini veren LED-75 marka 75 Wattlık LED armatür kullanılacaktır. Dönüşümü yapılacak 125W ve 100W'lık lamba sayısı 11 tanedir.

Dönüştürülecek LED armatür tipi ve sayısı verileri ile LED armatür üretici firmasından alınan fiyat bilgileri eşliğinde toplam kurulum maliyeti Tablo 12.6'da çıkartılmıştır. Tüm mahallenin LED armatüre dönüşüm maliyeti 30.605 \$ + İşçilik ücreti olarak belirlenmiştir.

Tablo 12.6: LED dönüşümü kurulum maliyeti tablosu

Kullanılacak LED armatür	Sayısı	Adet Fiyatı*	Toplam Maliyet
LED-108 (108W)	97	290 \$	28.130 \$
LED-75 (75W)	11	225 \$	2.475 \$
Genel Maliyet			30.605 \$

* Tabloda belirtilen adet fiyatı, armatürlerin tipine(askı tip, duvar tipi vb.) göre farklılık göstermemektedir.

12.6 SİSTEMİN AMORTİ SÜRESİ

Genel aydınlatma yönetmeliğine göre Türkiye’de aydınlatma direklerinin günlük 11.5 saat çalıştığı kabul edilmektedir. Bu durumda, sistemden toplam çekilen güç, saatlik olduğundan dolayı, bir günde çekilen toplam gücü bulmak için 11.5 ile çarpılmalıdır. [Günlük tüketim=Çekilen güç(saatlik) x 11.5]

Yapılan hesaplamalar sonucunda, LED dönüşüm çalışmasında günlük, aylık ve yıllık tüketilecek enerjinin TL bedeli değerleri Tablo 12.7’de gösterilmiştir. (TEDAŞ 2013 verilerine göre temmuz ayı elektrik birim fiyatı aydınlatma için 0.26 TL’dir.)

Tablo 12.7: Yıllık tüketim bedelleri

Kullanılan Sistem	Çekilen Güç(saatlik)	kW Başına Ödenen Tutar	Günlük Tüketim	Aylık Tüketim	Yıllık Tüketim
Mevcut Aydınlatma(HPS)	28.212W	0,26 TL	84 TL	2.530 TL	30.366 TL
LED Aydınlatma	10.734W	0,26 TL	32 TL	962 TL	11.552 TL
Mevcut Aydınlatma ile LED Aydınlatma arasındaki Fiyat Farkı			52 TL	1.568 TL	18.814 TL

Tablo 12.7 deki bilgilere göre mevcut aydınlatma ile dönüşüm yapılacak LED aydınlatmanın, yıllık enerji tasarrufu 18.814 TL dir.

Ülkemizde 2013 Eylül ayı itibarıyla dolar kurunun yaklaşık olarak 2 TL olduğunu kabul edersek, kurulum maliyeti 30.605 \$ olarak hesaplanmıştı, bu da 61.210 TL yapmaktadır.

Bu veriler eşliğinde $61.210 / 18.814 = 3,25$ yıl=3 yıl 3 ay sonra sistem kurulum maliyetini amorti edecektir.

13. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda çok hızlı bir gelişme gösteren LED teknolojisi çeşitli üstünlükleriyle birçok sektörün değişilmez komponenti haline gelmiştir. LED'lerin ilerleyen zamanlarda özellikle iç ve dış aydınlatmada önemli bir noktada olacağı öngörülmektedir. Bu çalışmada; dünyada yeni olmasa bile Türkiye için yeni olan LED dış mekan aydınlatma sistemlerinin güç-aydınlatma şiddeti gibi teknik parametrelerinin uygulamalı elde edilmesi, eski tip kimyasal gazlı lambaların değerleriyle karşılaştırılması, pilot bir bölgede LED dönüşüm çalışması yapılarak enerji tasarrufu, kurulum maliyeti ve amorti süresi hesaplanarak analiz edilmiştir.

Temel olarak inovatif bir durumun üstünlüğünün anlaşılması, ispatlanması için eski durumla birebir karşılaştırması yapılır. İşte LED'lerin üstünlüklerini anlamak için de bu çalışmada esas olarak konvansiyonel ışık kaynakları olan kimyasal gazlı lambaların (Yüksek Basıncılı Sodyum Buharlı) özellikleri referans alınmıştır. Dokümantasyon çalışmaları yapılarak öncelikle katalog değerlerle her iki teknoloji için teorik olarak belirlenmiştir. Ölçümler yapılarak, uzman kişiler ve üretici firmalarla görüşülüp, kıyaslamaya konu olacak uygun değerlerde LED armatürler seçilmiş ve ardından uygulama yapılmış, elde sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Elde edilen bu sonuçlar çerçevesinde, pilot çalışmaya konu olan, Saraç İshak mahallesinde; 108 adet Yüksek Basıncılı Sodyum Buharlı lamba bulunan armatürler, uygun güç değerlerde LED armatür kullanılarak, dönüşüm çalışması yapılmıştır. Yapılan incelemeler ve hesaplamalar sonucunda, LED'lerin, enerji tüketimi açısından daha yüksek güçlü olan eski tip aydınlatma ekipmanlarına göre yüzde 62'ye kadar enerji tasarrufu sağladığı sonucuna varılmıştır. LED'lerin tercih edilebilir olması sadece enerji tasarrufuyla kalmamakta ayrıca eski tip lambaların ortama verdikleri elektromanyetik dalgalar ve zararlı kimyasal gazlar gibi çevreyi olumsuz etkileyecek özelliklerinin bulunmaması da söz konusu olmaktadır. LED'ler ultraviyole ve kızılötesi ışınlar da yaymazlar, sera gazı emisyonu oluşturmadıkları için ozon tabakasına zarar vermezler, ısınma problemleri olmadığı için yangın riski de taşımazlar. Bunların yanında her türlü titreşime ve dış mekanda olabilecek çevresel etkilere karşı da

mukavemetleri yüksektir. Kullanım ömürleri de 50000 saat olması, lamba ve değiştirme işçiliğinden tasarruf edilmesini sağlamaktadır.

Bütün bu avantajlarının yanında LED'lerin olumsuz olarak görülebilecek tarafları da vardır. Üretim maliyetlerinin ve tesislerinin kurulumunun, işçilik ücretlerinin fazla olması en büyük dezavantajlarıdır. Ancak LED aydınlatma teknolojisinin yeni olması bu maliyetlerin yüksek olmasının nedenidir. LED dış mekan aydınlatma sistemlerinin üretiminin ve kullanımının yaygınlaşmasıyla maliyetler düşecektir. Yine de şu anda bile kullanılan bir LED aydınlatma armatürü 50000 saatlik ömrü boyunca neredeyse hiç arıza vermeden sorunsuz çalışması, ortalama 15000 saat ömrü olan diğer tip armatürlere göre maliyet açısından avantaj sağlayacağı aşikârdır.

Yine LED dönüşüm çalışmasında, sistemin kurulum masraflarını, 3 yıl 3 ay gibi kısa sayılabilecek bir sürede amorti etmesi, LED'ler ile kurulmuş sistemin çok uzun ömürlü olacağı düşünülürse, uzun vadede enerji tasarrufu ve çevresel etkileri açısından değerlendirildiğinde kârlı olacağı ortadadır.

LED dış mekan aydınlatmaların değerlendirilmesi çalışmasıyla mikro seviyede alınan bu bölgedeki değerlendirme ile yaklaşık 17 milyon aydınlatma armatürünün bulunduğu ülkemiz için makro düzeyde bir çıkarıma varılabilir. Ülke düzeyinde LED dönüşümünün yapılması hem ekonomik açıdan hem de çevresel açıdan kazanımı fazla olacaktır.

Sonuç olarak; Hiç aydınlatma uygulaması yapılmamış mekanlarda, LED ve HPS aydınlatma sistemi kurulum maliyetleri farkının, aylar mertebesi kadar kısa bir zamanda kendini amorti edeceğinden, mutlaka LED armatürler kullanılması, enerji tasarrufu ve diğer bir çok avantajları getireceğinden uygun bir tercih olacaktır.

Pilot çalışmanın yapıldığı Saraç İshak mahallesindeki armatürler gibi; Eski ve yıpranmış, camları kırık, reflektörleri kırılmış olan armatür sayısının çokça bulunduğu sokak ve caddelerde, bakım ve işletme bedelleri çok yüksek maliyet tutacağından, bir an evvel bu şekilde bakımsız armatürlerin sık olduğu mahallelerde LED armatürler kullanılarak dönüşüm yapılması bir çok açıdan faydalı olacaktır.

KAYNAKÇA

Kitaplar

Akbulut, M. ve Gül, Ö. *LED'li Işık Kaynaklarının Karakteristiklerini Belirlemeye Yönelik Ölçmeler*, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Bölümü.

Çetin, M., Çalışkan, G., Türkmen, Ü., Sezer, Y. ve Sarısaltık, A.U. (2013) *Aydınlatmada Enerji Verimliliği*, Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendisli Fakültesi.

Erdem, S. (2007) *Aydınlatma Mühendisliğinde İleri Yöntemlerle Çözüm Teknikleri*, Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

MEB (2010) *Aydınlatma Tekniği*, Ankara: Milli Eğitim Bakanlığı Hayat Boyu Öğrenme Genel Müdürlüğü.

MEGEP (2007) *Dış aydınlatma tesisatları*, Ankara: Milli Eğitim Bakanlığı.

Timinger, A. ve Ries, H. (2008) 'Street-Lighting with LEDs', *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, v 7103, pp. 71030H-1 – 71030H-6. Web.

Yavuz, C. (2004) *Şehir Aydınlatmacılığı, Işık Kirliliği ve Aydınlatmada Eneji Verimliliği*, Sakarya: Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Sürekli yayınlar

EERE (2013) *Chapter 3. Technology assessment*, Newyork: The Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE), Erişilebilir:
http://www1.eere.energy.gov/buildings/appliance_standards/commercial/pdfs/hid_nod_tsd_ch3_ta_07_01_2010.pdf [29 Ağustos 2013].

IESNA Light Sources Committee (2005) 'IESNA Technical Memorandum on Light Emitting Diode (LED) Sources and Systems', *IESNA TM-16-05. Illuminating Engineering Society of North America. New York.*

Kadimbeyoğlu, M. (2002) 'Aydınlatma Kontrol Sistemlerinin Önemi', *3e Electrotech Dergisi*, Temmuz, p. Sayı 98.

Teke, A., Haddur, Ö. ve Mutlu, İ.H. (2011) 'LED Teknolojileri BÖLÜM 1: Çeşitleri ve Sürücü Devreleri', *Yeni enerji dergisi*, no. 24, Eylül-Ekim.

U.S. Department of Energy (2007) *Thermal Management of White LEDs*, Web. 14 March 2010: U.S. Department of Energy. PNNL-SA-51901.

Diğer yayınlar

Advantages of LED Lighting (2013), [Online], Erişilebilir:

<http://www.lightsearch.com/resources/lightguides/ledadvantages.html>
[27 Ağustos 2013].

Balast (2013), [Online], Erişilebilir: <http://www.nedir-neiseyarar.com/2012/02/balast-nedir.html#.Uj8UD4bwZcB> [11 Ağustos 2013].

BEDAŞ (2013) *Aydınlatma direkleri verileri*, İstanbul: BEDAŞ Beyazıt İşletme Müdürlüğü.

Elisolar (2013) LED uygulamaları, [Online], Erişilebilir:

http://www.sepron.com.tr/dosyalar/sepron_elisolar_led_teknolojisi_uygulamalar_i.pdf [21 Ağustos 2013].

Epistar LED Chip and Package (2013), [Online], Erişilebilir:

<http://www.hideeled.com/en/news/Epistar-LED-Chip-and-Package-387.html#.Uj8uIYbwZcA> [20 Ağustos 2013].

Etkinlik Faktörü (2013), [Online], Erişilebilir:

<http://www.ledgogroup.com/haberler/teknik-bilgiler/> [26 Temmuz 2013].

Faraz, H. (2011) Coordinated Circuit Protection for LED Lighting, 22 Nov, [Online], Erişilebilir:

<http://www.digikey.ca/ca/en/techzone/lighting/resources/articles/coordinated-circuit-protection.html> [27 Ağustos 2013].

İBB (2013) *Konumsal veritabanı verileri*, İstanbul: İstanbul Büyükşehir Belediyesi-Coğrafi Bilgi Sistemi Müdürlüğü.

Kaya, S. (2009) *Enerji Verimliliğinde Aydınlatmada Kullanılan Lamba Seçiminin Önemi*, Kocaeli: III.Enerji verimliliği ve kalitesi sempozyumu bildirileri.

Kocaeli Belediyesi (2013) Enerji verimliliğinde LED teknolojisi, [Online], Erişilebilir:

<http://www.kocaeli.bel.tr/icerik/enerji-verimliliginde-led-teknolojisi/2091/18869.aspx> [25 Ağustos 2013].

Lamptech (2013a) The mercury vapour lamp, [Online], Erişilebilir:

<http://www.lamptech.co.uk/Documents/M1%20Introduction.htm>
[01 Ağustos 2013].

Lamptech (2013b) The low pressure sodium lamp, [Online], Erişilebilir: <http://www.lamptech.co.uk/Documents/SO%20Introduction.htm> [01 Ağustos 2013].

LED (2013), [Online], Erişilebilir: <http://www.elektrosepet.com/power-led-nedir-.html?&sl=tr> [15 Temmuz 2013].

LED Avan. (2013), [Online], Erişilebilir: http://nerialed.com.tr/led_teknolojisi/ledin-avantajlari [23 Ağustos 2013].

LED avantajları (2013), [Online], Erişilebilir: http://calmaled.com/led_led_avantajlari-l-1-sayfa_id-101-id-41154-g_id-24589-f-c6d4af4f6a50862f5c040e0d1370b672 [22 Ağustos 2013].

LED aydınlatma sistemleri (2013), [Online], Erişilebilir: http://www.damla-led.com/Tr/Teknik_1.Asp?act=LED%20Ayd%FDnlatma%20Sistemleri [25 Ağustos 2013].

Led ışık kaynakları (2007), [Online], Erişilebilir: http://www.emo.org.tr/ekler/956c5080dc82dda_ek.pdf?tipi=2&turu=X&sube=7 [19 Ağustos 2013].

LED lights (2013), [Online], Erişilebilir: <http://www.usaledsolutions.com/> [26 Ağustos 2013].

LED Profile (2012), Aralık, [Online], Erişilebilir: <http://ledaluminumprofile.blogspot.com/2012/12/led-heat-dissipation-base-plate.html> [23 Ağustos 2013].

LED sistemleri (2013), [Online], Erişilebilir: <http://mefegrup.com/led-sistemleri/> [20 Ağustos 2013].

Ledler Nasıl Çalışır (2013), [Online], Erişilebilir: <http://www.zenitled.com/led-aydinlatma/2-led-nasil-calisir.aspx> [19 Ağustos 2013].

Li, F., Chen, D., Song, X. ve Chen, Y. (2009a) '*LEDs: A Promising Energy-Saving Light Source for Road Lighting.*', Power and Energy Engineering Conference, 2009. APPEEC 2009. Asia-Pacific, Wuhan, 1-3.

Niki LED (2013), [Online], Erişilebilir: <http://www.nikielektronik.com/sayfa.php> [26 Ağustos 2013].

Onaygil, S. (2013) *LED'li yol aydınlatması ve enerji*, Kocaeli: 5. Enerji verimliliği ve kalitesi sempozyumu.

Perdahçı, C., Durak, M. ve Kılıç, Y. (2013) 'LED Teknolojisi', 4. Ulusal Enerji Verimi Forumu ve Fuarı, 32. Enerji Verimliliği Haftası, 4. Ulusal Enerji Verimi Forumu ve Fuarı, Kocaeli.

Renksel Geriverim (2013), [Online], Erişilebilir: <http://www.seltaselektrik.com/teknik/197.pdf> [14 Temmuz 2013].

Selection of the right light source (2013), [Online], Erişilebilir: <http://www.omslighting.com/rightlight/1638/office-and-communication/map/selection-of-the-right-light-source> [23 Ağustos 2013].

TEDAŞ (2006) *Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı lambalar teknik şartnamesi*, 94001. C edition, Ankara: Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.

Tetra Tech EM Inc. (2003) *Final Report: Technology Assessment of Light Emitting Diodes (LED) for Street and Parking Lot Lighting Applications.*, California: Tetra Tech EM Inc.

Thermal management of high-power LEDs (2013), [Online], Erişilebilir: http://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_management_of_high-power_LEDs [20 Ağustos 2013].

TUG (2001) *Elektrik Dış Aydınlatma Yönetmeliği Taslağı*, Ankara: Tübitak Ulusal Gözlemevi.

Wikipedia (2012) http://tr.wikipedia.org/wiki/Dosya:Eletromanyetik_dalga_tayf%C4%B1.png, [Online], Erişilebilir: http://tr.wikipedia.org/wiki/Dosya:Eletromanyetik_dalga_tayf%C4%B1.png [04 Temmuz 2013].

YEGM (2012) Sokak Aydınlatmada Pilot Projeler, [Online], Erişilebilir: http://www.eie.gov.tr/duyurular_haberler/h_sokak_aydinlatma_pilot_ptojeler.aspx [30 Ağustos 2013].

ÖZGEÇMİŞ

- Adı Soyadı** : Abdullah KILIÇ
- Sürekli Adresi** : Soğanlı Mh.Marmara Sokak. No:12/4 Bahçelievler/ İST.
- Doğum Yeri ve Yılı** : İstanbul-1978
- Yabancı Dili** : İngilizce
- İlk Öğretim** : Ali Haydar Günver İlkokulu- 1989
- Orta Öğretim** : Bağcılar Lisesi- 1994
- Lisans** : İstanbul Üniversitesi- Elektrik Elektronik Müh. 1998
- Yüksek Lisans** : Bahçeşehir Üniversitesi, 2013
- Enstitü** : Fen Bilimleri
- Program Adı** : Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi
- Çalışma Hayatı** :
- İstanbul Büyük Şehir Belediyesi / Coğrafi Sistemler Müdürlüğü (2007-)
- İstanbul Aydın Üniversitesi / Bilgi İşlem Daire başkanlığı (2004-2007)
- Asay Mühendislik Ltd. / IT Departmanı (2002-2003)