

T.C.
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS

TERMİK, DEŞARJA DAYANAN VE ELEKTROLÜMİNESANS
YOLLARLA ÜRETİLEN IŞIĞIN *TRITICUM AESTIVUM* L.
(BUĞDAY) VE *HORDEUM VULGARE* L. (ARPA) ÜZERİNDEKİ
BİYOKİMYASAL ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Elçin KILIÇ

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ŞAHİN

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Etem OSMA

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

ERZİNCAN
2018

Her Hakkı Saklıdır.

Kabul ve Onay Sayfası

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ŞAHİN danışmanlığında, Elçin KILIÇ tarafından hazırlanan bu çalışma 10/08/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans olarak oybirliği/oy çokluğu (3/3) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. İbrahim Hakkı CİĞERCİ

İmza:

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ŞAHİN

İmza:

Üye : Doç. Dr. Murat GÜLNAHAR

İmza:

Yukarıdaki sonuç Enstitü Yönetim Kurulunun 14/09/2018 tarih ve 32/15..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Paşa YALÇIN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, şekil ve tabloların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

Bilimsel Etięe Uygunluk Sayfası

Termik, Deęarja Dayanan ve Elektrolüminesans Yollarla Üretilen Işığın *Triticum aestivum* L. (Buğday) ve *Hordeum vulgare* L. (Arpa) Üzerindeki Biyokimyasal Etkilerinin Araştırılması isimli Yüksek Lisans tezim tarafımda intihal tespit programı ile incelenmiştir. Buna göre tezimde bilimsel etik ihlali ve intihal olarak nitelendirilebilecek herhangi bir durum olmadığını taahhüt ederim.

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir biçimde elde edildiğini; aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiğı gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi beyan ederim. 10/08/2018


Elçin KILIÇ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Termik, Deşarja Dayanan ve Elektrolüminesans Yollarla Üretilen Işığın *Triticum aestivum* L. (Buğday) ve *Hordeum vulgare* L. (Arpa) Üzerindeki Biyokimyasal Etkilerinin Araştırılması

Elçin KILIÇ

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ŞAHİN

Işık, canlılar için vazgeçilmez bir enerji kaynağı olmanın yanı sıra aydınlatmanın en temel unsurudur. Aydınlatma ise, bir işlevin görülebilmesi için gerekli aydınlık düzeyinin sağlanmasıdır. Aydınlatma, kullanılan ışığın kaynağına göre doğal aydınlatma ve yapay aydınlatma olarak ikiye ayrılır ve gün ışığının yeterli olmadığı alanların aydınlatılmasında yapay aydınlatma türü kullanılır. Yapay aydınlatmada kullanılan aydınlatma elemanları ise ışık üretim yollarına göre farklılık göstermektedir. Uygulamada çoğunlukla üç farklı ışık üretim metodu kullanılır ve bunlar kendi aralarında farklılık göstermektedir. Bu yüzden ışık kaynakları farklı fiziksel ve yapısal özelliklere sahiptir. Bu çalışmada, söz konusu ışık üretim metodlarıyla ışık üreten; akkor flamanlı, LED, sodyum buharlı, cıva buharlı ve metal halojenli deşarj ışık kaynaklarının kullanıldığı farklı aydınlatma ortamları oluşturulmuş ve bu ortamlarda “*Triticum aestivum* L. (Buğday) ve *Hordeum vulgare* L. (Arpa)” bitkileri yetiştirilmiştir. Yetiştirme ve hasat işlemlerinden sonra bitkilerin ağırlık değerleri, boy ölçümleri, elektrolit sızıntı, klorofil, karoten miktarları belirlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre çalışılan ışık parametreleri altında yetiştirilen bitkiler arasında önemli farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir.

2018, 83 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Işık Üretim Yolları, *Hordeum vulgare* L., *Triticum aestivum* L., Yapay Aydınlatma

ABSTRACT

Master Thesis

Investigation of the Biochemical Effects on the *Triticum aestivum* L (Wheat) and *Hordeum vulgare* L. (Barley) Produced by Thermal, Relieved and Electroluminescence

Elçin KILIÇ

Erzincan Binali Yıldırım University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronic Engineering

Supervisor: Asist. Prof. Dr. Mustafa ŞAHİN

Light is the most basic elements of lighting as well as being an indispensable source of energy for living organisms. Lighting might be defined as providing the level of brightness required for a function to be visible. It can be subcategorized as natural lighting and artificial lighting in terms of the source of light and artificial lighting is used for illuminating areas where daylight is not sufficient. The lighting elements used in artificial illumination vary in accordance with the way of light production. In practice, there are three different methods of light production that are often applied, which vary among themselves. Therefore, light sources have different physical and structural properties. This study aimed to create lighting environments by means of three light production methods while using incandescent lamp, LED, sodium vapor, mercury vapor and metal halogen discharge light sources. Within these environments “*Triticum aestivum* L. (wheat) and *Hordeum vulgare* L. (barley)” were cultivated. Weight values, height measurements, electrolyte leakage, chlorophyll, carotene amounts of plants were determined at the end of growing and harvesting procedures. According to the obtained data, significant differences were observed among the plants grown under the light parameters studied.

2018, 83 Pages

Keywords: Artificial Lighting, *Hordeum vulgare* L., Light Production Routes, *Triticum aestivum* L.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimindeki çalışmalar boyunca sabır ve hoşgörüsünü eksik etmeyen, bilgi, birikim ve tecrübesiyle bana yol gösteren, beni yönlendiren ve bu tez çalışması boyunca desteğini esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ŞAHİN'e, çalışma boyunca bana her konuda destek olan eş danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Etem OSMA'ya Sn. Prof. Dr. Yüksel OĞUZ'a, Sn. Öğr. Gör. Fatih YILDIZBİLİR'e ve çalışma arkadaşlarım Müjgan ELVEREN ve Zehra KARAGÖZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez süresi boyunca benden yardım ve desteklerini esirgemeyen OKB Yıldırım Elektrik firmasına bu süreçte bana manevi olarak destek olan arkadaşlarıma ve en önemlisi beni her zaman destekleyen, her zaman yanımda olduklarını bildiğim, hayatımda hep çok büyük yerleri olan değerli babam Ali KILIÇ'a, sevgili annem Güzide KILIÇ'a, sevgili ablam Elif ANAÇ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Elçin KILIÇ

Ağustos, 2018

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
3. KURAMSAL TEMELLER.....	11
3.1. Elektriğin Tarihsel Gelişim Süreci.....	11
3.2. Aydınlatma.....	13
3.2.1. Işık kaynakları bakımından aydınlatma türleri	14
3.2.1.1. Doğal aydınlatma.....	14
3.2.1.2. Yapay aydınlatma	14
3.2.2. Aydınlatmanın niceliği ve niteliği.....	15
3.2.2.1. Aydınlatmanın niceliği	15
3.2.2.2. Aydınlatmanın niteliği	15
3.2.3. Işığın yönlendirilmesine göre aydınlatma türleri	15
3.2.3.1. Direkt (dolaysız) aydınlatma	15
3.2.3.2. Yarı direkt (yarı dolaysız) aydınlatma	16
3.2.3.3. Karma (homojen) aydınlatma	16
3.2.3.4. Yarı endirekt aydınlatma (yarı dolaylı) aydınlatma.....	16
3.2.3.5. Endirekt (dolaylı) aydınlatma	16
3.3. Fotometri ve Fotometrik Büyüklükler	16
3.3.1. Fotometri	17
3.3.2. Işık.....	17
3.3.3. Işık akısı	17
3.3.4. Işık şiddeti	18

3.3.5. Uzay açısı.....	18
3.3.6. Aydınlik düzeyi.....	19
3.3.7. Parliltı (Lüminans)	20
3.3.8. Işıksal etkinlik (etkinlik faktörü).....	20
3.3.9. Renk	20
3.3.9.1. Renk sıcaklığı	21
3.3.9.2. Renksel geriverim indeksi	21
3.4. Fotometrik Yasalar.....	21
3.4.1. Uzaklığın karesi ile ters orantı yasası	21
3.4.2. Kosinüs yasası.....	22
3.4.3. Uzay açısı izdüşüm yasası	23
3.4.4. Lambert yasası	23
3.5. Işık Üretiminin Temelleri	24
3.5.1. Termik yolla ışık üretimi.....	25
3.5.2. Deşarja dayanan ışık üretimi.....	25
3.5.3. Elektrolüminesans ışık üretimi.....	25
3.6. Lambalar	26
3.6.1. Akkor flamanlı (enkandesan) lambalar	26
3.6.1.1. Tungsten halojen lambalar.....	27
3.6.2. Flüoresan lambalar	28
3.6.3. Deşarj lambaları	30
3.6.3.1. Sodyum buharlı deşarj lambaları	31
3.6.3.2. Cıva buharlı deşarj lambaları.....	33
3.6.3.3. Metal halide lambalar	35
3.6.4. Deşarj lambalarının çalıştırılması için gerekli araçlar	37
3.6.4.1. Akım sınırlayıcı araçlar (Balast).....	37
3.6.4.2. Ateşleme için kullanılan araçlar	38
3.6.5. LED.....	39
3.6.5.1. LED'lerin karakteristik yapıları.....	42
3.7. Işığın Bitkiler Üzerindeki Etkisi	45
4. METERYAL ve YÖNTEM	47
4.1. Materyal	47
4.2. Yöntem.....	48

4.2.1. Sodyum buharlı deşarj lambanın kullanıldığı aydınlatma sistemi	48
4.2.2. Akkor flamanlı lambanın kullanıldığı aydınlatma sistemi.....	50
4.2.3. Metal halojenli aydınlatma sistemi	51
4.2.4. LED flüoresan lambanın kullanıldığı aydınlatma sistemi.....	53
4.2.5. Cıva buharlı aydınlatma sistemi.....	54
4.2.6. Hücredeki elektrolit sızıntı miktarının tespit edilmesi	56
4.2.7. Klorofil ve karotenoid tayini	57
4.2.8. İstatistiksel analizler	57
5. ARAŞTIRMA BULGULARI	59
5.1. Arpa ve Buğday Bitkilerinin Ağırlık Verileri	59
5.2. Arpa ve Buğday Bitkilerinin Boy Verileri	60
5.3. Arpa ve Buğday Bitkileri Elektrolit Sızıntı Miktarları	61
5.4. Arpa ve Buğday Bitkilerinin Klorofil ve Karoten Miktarları	62
6. TARTIŞMA	68
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	73
KAYNAKLAR	75
EKLER	82
Ek-1. Tez Çalışması Süresince Yapılan Akademik Çalışmalar	83
ÖZGEÇMİŞ	84

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Elektromanyetik spektrum (Pelsan, 2018).....	17
Şekil 3.2. Işık şiddeti.....	18
Şekil 3.3. Uzay açının tanımı (Özkaya, 2004).	19
Şekil 3.4. Aydınlik düzeyi ve ışık akısı.	19
Şekil 3.5. Uzaklığın karesi ile ters orantı yasası (Öztürk, 2011, s.35).	22
Şekil 3.6. Noktasal aydınlatma formülü.....	22
Şekil 3.7. Kosinüs yasası tanımı.	23
Şekil 3.8. Lambert yasasına uygun ışık yayan yüzey ve yansımaları (Aktaş, 2012, s10).	24
Şekil 3.9. Akkor flamanlı lambanın iç yapısı (Matsuda ve Yaguch, 1995).....	27
Şekil 3.10. Flüoresan lambanın yapısı (Taylor ve Alma, 2000, s.32).....	29
Şekil 3.11. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambanın yapısı (Taylor ve Alma, 2000, s.30).....	32
Şekil 3.12. Cıva buharlı deşarj lambaları.....	34
Şekil 3.13. Metal halide lambalarının yapısı.....	36
Şekil 3.14. Deşarj lambası bağlantı şeması (Macro Power Engineering).	39
Şekil 3.15. LED'in fiziksel yapısı (Gürbüz, 2012).	40
Şekil 3.16. Yarı iletken LED yapısı (Türköz, 2009).	40
Şekil 3.17. LED ışık şiddeti ve dalga boyunun ortam sıcaklığı ile değişimi (Gültekin, 2013).....	41
Şekil 3.18. LED'in akım-gerilim karakteristiği (Akbulut ve Gül, 2009).	43
Şekil 3.19. LED'in akım-ışık şiddeti karakteristiği (Akbulut ve Gül, 2009).	43
Şekil 3.20. LED'in verim-zaman karakteristiği (Gürbüz, 2012).	44
Şekil 3.21. LED'in sıcaklık-ışık akısı karakteristiği (Erol ve Canpolat, 2011).	44
Şekil 4.1. Spektrometre cihazı.	48
Şekil 4.2. Sodyum buharlı aydınlatma sisteminde kullanılan elemanlar.	49
Şekil 4.3. Sodyum buharlı lambanın monte edildiği aydınlatma sistemi.....	50
Şekil 4.4. Termik yolla ışık üreten düzenekte kullanılan aydınlatma elemanı (akkor flamanlı lamba).	50

Şekil 4.5. Akkor flamanlı lambanın monte edildiği aydınlatma sistemi.....	51
Şekil 4.6. Metal halojenli aydınlatma sisteminin elemanları.	52
Şekil 4.7. Metal halojenli lambanın monte edildiği aydınlatma sistemi.	53
Şekil 4.8. LED lamba.	53
Şekil 4.9. LED lamba aydınlatma sistemi.	54
Şekil 4.10. Cıva buharlı lambanın kullanıldığı aydınlatma sistemindeki elemanlar.	54
Şekil 4.11. Cıva buharlı lambanın monte edildiği aydınlatma sistemi.	55
Şekil 4.12. Buğday ve arpa bitkilerinin ekim yapıldığı saksılar.	56
Şekil 4.13. Klorofil miktarı ölçümleri için basamaklar.....	57
Şekil 5.1. Arpa ve buğday bitkilerinin ağırlık verileri grafiği.....	59
Şekil 5.2. Arpa ve buğday bitkilerinin boy verileri grafiği.....	60
Şekil 5.3. Arpa ve buğday bitkilerinin elektrolit sızıntı verileri grafiği (*p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001 significant).....	61
Şekil 5.4. Arpa ve buğday bitkilerinin klorofil a verileri grafiği (*p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001 significant).	62
Şekil 5.5. Arpa ve buğday bitkilerinin klorofil b verileri grafiği (*p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001 significant).	63
Şekil 5.6. Arpa ve buğday bitkilerinin klorofil a+b verileri grafiği (*p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001 significant).	64
Şekil 5.7. Arpa ve buğday bitkilerinin karoten miktarları grafiği (*p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001 significant).	65

TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Renk sıcaklığı aralık değerleri.....	21
Tablo 5.1. Lambaların harcamış oldukları enerji.....	66



SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

$^{\circ}C$	Celsius
$^{\circ}K$	Kelvin
A	Amper
cm	Santimetre
d,r	Uzaklık (m)
E	Aydınlık Düzeyi
F	Birim Zamandaki Enerji Akısı
g	Gram
I_f	LED Akımı (A)
K_o	Enerji Akısının Fotometrik Eşdeğeri
kHz	Kilohertz
L	Parıltı
mg	Miligram
ml	Mililitre
η	Işıksal Verim (lm/w)
nm	Nanometre
R_a	Renksel Geriverim
S	Yüzey Alanı (m ²)
V	Volt
V_f	LED Gerilimi
W	Watt
ρ	Yansıtma Faktörü
Φ	Işık Akısı (lm)

Kısaltmalar

ABSL	Alçak Basıncılı Sodyum Buharlı Lamba
BF	Blue Fluorescent (Mavi Flüoresan)
CCT	Correlated Color Temperature (İlişkili Renk Sıcaklığı)
CIE	Committee Internationale I'Eclairage (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu)
CRI	Color-Rending Index (Renk Geriverim İndeksi)

CWF	Cold White Fluorescent (Soğuk Beyaz Flüoresan)
IR	Infrared (Kızılötesi)
LED	Light Emiting Diode (Işık Yayan Diyot)
MÖ	Milattan Önce
OLED	Organik LED
PAR	Photosynthetically Active Radiation (Fotosentezde Aktif Işıma)
PWM	Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)
RB	Red-Blue (Kırmızı-Mavi)
RBW	Red-Blue-White (Kırmızı-Mavi-Beyaz)
SI	Uluslararası Birimler Sistemi
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
UV	Ultraviole (Morötesi)
YBSBL	Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba

1. GİRİŞ

Işık, aydınlatmanın en önemli ve en temel unsurudur. Eski çağlardan beri; insanlar, hayvanlar, bitkiler kısacası bütün canlılar için önem arz eden gereksinimlerden biri olmuştur. Günün belirli bir zaman diliminde yeryüzünü aydınlatan doğal ışık kaynağı güneşin yanı sıra hayatın devamını sağlayabilmek için de yapay ışık kaynaklarının kullanımına ihtiyaç duyulmuştur. En büyük enerji kaynağı güneşin battığı veya doğmadan önceki zamanlarda, kısacası güneş ışınlarının yeterli olmadığı alanlarda da aydınlatma yapabilmek için çeşitli yapay ışık kaynağı araştırmaları söz konusu olmuştur. Aydınlatmanın sürekliliğini sağlamak amacıyla insanlar yapay aydınlatma kaynakları bulmaya yönelmiş ve yeni teknolojik gelişmeler sayesinde çeşitli ürünler ortaya çıkarmışlar.

Yapay ışık kaynakları ile yapılan aydınlatma tasarımları pek çok amaçla kullanılmaktadır. Mekân tasarımları, çevre aydınlatması, bitki büyüme odaları vs. farklı amaç ve işlevlerde bu kullanım amaçlarına örnek olarak gösterilebilir.

Yapay ışık, genel olarak üç grup altında toplanan ışık üretim metodu ile üretilmektedir. Bunlar;

1. Termik yolla üretim
2. Deşarja dayanan üretim
3. Elektrolüminesans yolla üretim (Özkaya ve Tüfekçi, 2011)

Bu üretim yöntemlerinin temeli elektrik enerjisinin ışığa dönüştürülmesi esasına dayanmaktadır. Bu ışık üretim metotlarının her biri birbirine göre farklılık göstermektedir. Bundan dolayı her ışık kaynağı farklı fiziksel ve yapısal özelliklere sahiptir.

Termik yolla üretilen lambalarda içinde bulunan madeni telden elektrik akımı geçirilmesiyle akkor haline gelene kadar ısıtılır. Böylece ışık elde edilir. Bu üretim yolundaki problem, içerisinde kullanılan madeni telin yüksek sıcaklıklara çıkarılabilesidir. İlk akkor telli lamba H. Goebel tarafından 1854 yılında bulunmuş ve 1879 yılında ise T. Edison tarafından icat edilmiş ve günümüze kadar teknoloji ile birlikte geliştirilmiştir (Öztürk, 2011).

Deşarja dayanan üretimde ise elektriksel deşarj yoluyla lamba içerisinde bulunan gaz etkileşime geçip iyonize olmaya başlar ve ışık elde edilir. Bu üretim yolunda ışımalar görünen dalga boyu bölgesinde ve morötesi ışımaya bölgesinde meydana gelir. Deşarj sonucu üretilen lambalar çalışma esnasında yardımcı kaynaklara ihtiyaç duyarlar. Deşarj lambalarında kullanılan balastların amacı iyonizasyon yani deşarj akımını sınırlandırıp bu oluşan akımın kısa devreye dönüşümünü engellemektir (İmal ve Uyaroğlu, 2007). Bir deşarj lambasının balastı ile uyumlu olması ve tercih edilen balastın elektronik ve elektromanyetik büyük olması önem taşımaktadır (Eklund ve ark, 1999). Balastın lambaya sağladığı gerilimin olması gerekenden daha düşük bir seviyede olması lambaya yetersiz akımın verilmesine sebep olur. Bu da lambanın yetersiz ışık akısı vermesine ve gerekli olan parlaklığa ulaşamamasına sebebiyet verir (Aslan ve Onaygil, 2001; Gençoğlu, 2005). Bu sebeple lamba ve balastın uyumlu olmasına dikkat etmek gerekmektedir.

Son yıllarda gelişen elektrolüminesans yolla üretim de ise katı hal yarı iletken tabanlı araçlar olup elektrik enerjisinin doğrudan ışık enerjisine dönüştürüldüğü üretim yoludur (Taylor ve Alma, 2000). Bu yöntemle ışık üreten LED'ler çok küçük ve dayanıklıdır. LED'ler birtakım işlemlerden geçirilmiş n-tipi ve p-tipi olarak adlandırılan yarı iletken elemanlardan oluşur. Temelde yarı iletken bir diyot olan LED'ler diğer diyotlardan farklı olarak p-n eklem bölgelerinde yaymış oldukları fotonlar aracılığıyla ışık verirler (Dupuis ve Krames, 2008).

Işığın her canlı üzerinde bir etki oluşturduğu yadsınamaz bir gerçektir. Bitkiler farklı çevresel parametrelerin yanında büyük ölçüde ışığa ihtiyaç duyarlar. Işık, bitkilerin fizyolojik gelişmelerinin yanı sıra biyolojik olarak çiçeklenme ve çiçek organlarının oluşmasına ve morfolojik olarak da organların şekline etki etmektedir. Kısacası bitkilerin büyüme, gelişme ve çeşitli metabolik olaylarına ışık etki etmektedir. Işık miktarının az olması gibi fazla olması da bitki üzerinde bazı olumsuz etkiler yaratır (Hay ve Walker, 1989).

Günümüzde bitki yetiştirmede gerekli temel kaynak olan güneş ışınlarına ek olarak yapay ışık kaynakları kullanılmakta ve gün geçtikçe önemi artmaktadır. Güneşin yeryüzüne gönderdiği ışınlar çeşitli dalga boylarına sahiptir. Işık spektrumunda yaklaşık 390-760 nm dalga boyu aralığı görünür spektrum olarak adlandırılmaktadır (Eriş, 2007). Bitkilerin fotosentezde kullandıkları ışık aralığı ise güneşten yayılan elektromanyetik

ışınlar içindeki görünür dalga boyudur (Zhu ve ark., 2008). Işık bitkilerde fotosentez kullanımını için enerji kaynağının yanı sıra farklı gelişim süreçlerini kontrol eden ve yönlendiren bir etmendir (Padem ve Özdamar, 2002; Andiç, 1993).

Fotokimyasal süreç olan fotosentez, ışık dalga boyunun bir fonksiyonudur. Fotosentez hızı dalga boyuna bağlı olmakla birlikte ortama farklı dalga boylu bir ışığın eklenmesi fotosentez hızının artmasına sebep olmaktadır. Bundan dolayı bu durum yapay aydınlatmanın söz konusu olduğu zamanlarda büyük önem arz eden bir husus olarak karşımıza çıkmaktadır (Yağcıoğlu, 1986).

Bu çalışmada, ışık üretim metotları temel alınarak üretilen yapay ışık kaynaklarının tarımsal üretimindeki yeri ve ışığın bitkiler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu doğrultuda, laboratuvar ortamında akkor telli (enkandesan) lamba, sodyum buharlı ve cıva buharlı deşarj lambaları, metal halojenli deşarj lamba ve LED lamba ile aydınlatılan ortamlar oluşturulmuştur. Bu ortamlar altında laboratuvarda kolaylıkla büyütülebildiği için buğday (*Triticum aestivum* L.) ve arpa (*Hordeum vulgare* L.) yetiştirilmiştir. Yetiştirilen bitkilerin çeşitli parametre değerleri incelenmiş ve analiz edilmiştir. Daha sonraki çalışmalara da ışık tutacak ve yön verecek nitelikte bir çalışma gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

Bu araştırmanın temel amacı;

- Piyasada kolaylıkla temin edilebilecek yapay ışık kaynaklarının tarımsal faaliyetlerde kullanılabilirliğini araştırmak,
- Kullanılan ışık kaynakları arasındaki en uygun nitelikteki ışığın tespit edilerek tarımsal üretimdeki verimin arttırılmasına yönelik önerilerde bulunmaktır.

Çalışmanın kaynak özetleri bölümünde literatürdeki benzer çalışmalar araştırılmış, kuramsal temeller bölümünde aydınlatma, fotometri, ışık üretimi yolları, yapay ışık kaynakları, bitki fizyolojisi ve ışığın bitkiler üzerindeki potansiyel etkileri hakkında geniş bilgilere yer verilmiştir. Materyal ve yöntem bölümünde, oluşturulan laboratuvar düzenekleri ve kullanılan yöntemler hakkında bilgilere yer verilmiştir. Araştırma bulguları kısmında laboratuvar ortamında yapay ışık kaynakları altında yetiştirilen bitkilerin fizyolojik etkilerine bakılmış ve gereken veriler elde edilmiştir. Son olarak ise

sonuç, tartışma ve öneri bölümünde elde edilen veriler analiz edilmiş, yapılan diğer çalışmalar ile kıyaslanmış ve önerilerde bulunulmuştur.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Tez çalışmasının bu bölümünde gerekli literatür taraması yapılmış olup konuya ilişkin ulusal ve uluslararası çeşitli yayınlar (tez, makale, bildiri, seminer, kitap, vb.) incelenmiştir. Yapılan literatür taraması neticesinde konu ile ilgili sınırlı sayıda çalışmanın olduğu görülmüştür.

Yorio ve ark. (2001), “Mavi Işık Desteği ile Kırmızı Işık Yayan Diyot (LED) Altında Yetişen Ispanak, Turp ve Marul Bitkisinin Geliştirilmesi” konusunda araştırma yapmışlar. Turp (*Raphanus sativus* L. cv. Cherriette), marul (*Lactuca sativa* L. cv. Waldmann's Green) ve ıspanak (*Spinacea oleracea* L.) bitkileri 660 nm kırmızı LED ışığı altında büyütülmüş ve soğuk beyaz flüoresan lamba (CWF) ya da mavi flüoresan (BF) lambalardan %10'a kadar mavi ışık (400-500 nm) ile desteklenmiş kırmızı LED'ler altında yetiştirilmiş bitkiler ile eşit fotosentetik foton akışı (PPF) karşılaştırılmıştır. Bitkiler ekildikten 21 gün sonra, yaprak fotosentetik oranı ve stoma iletkenliği soğuk beyaz flüoresan lamba altında yetiştirilen bitki, mavi ışıkla desteklenmiş veya desteklenmemiş kırmızı LED ışıkları altında yetiştirilenden daha fazla olduğu tespit edilmiş. Ayrıca turp ve ıspanak için toplam kuru ağırlığı mavi flüoresan ve %10 mavi ışık ile desteklenmiş kırmızı LED ışıkları ile yetiştirilen, soğuk beyaz flüoresan ışığı altında yetiştirilenden çok daha fazla düşüktür ve bu ürünler için maksimal bir büyüme elde etmek için kırmızı LED'lere mavi ışığın eklenmesinin hala yetersiz olduğu bilgisi önerilmiştir.

Aydınşakir ve ark. (2005), yayınlamış oldukları bir makalede “Farklı Işık Kaynaklarının Altınbaşak (*Solidago x hybrida* ‘Tara’)’da Verim ve Kalite Özelliklerine Etkisi” konusunu incelemişlerdir. Bu çalışmada ışık kaynağı olarak akkor telli lamba ve sodyum buharlı lamba kullanılmıştır. Altınbaşak fidesi için kritik gün uzunluğu 13 saat olacak şekilde doğal gün uzunluğunun devamı şeklinde ek aydınlatma yapılmıştır. Araştırma sonucunda ise sodyum buharlı lamba uygulamalarının verim, sap uzunluğu, salkım uzunluğu, gövde çapı çiçekli sürgün yaş ağırlığı değerleri üzerinde en iyi sonucu verdiğini belirlemişlerdir.

Başer (2006), “Farklı Aydınlatma Programları İle Mısır ve Tritikale Esaslı Rasyonların Etlik Piliçlerin Verim Performansı Karkas Özellikleri ve Yağlanması Üzerine Etkileri”

üzerine bir araştırma yapmış ve 4 farklı aydınlatma programı altında 3 yem kaynağının etlik piliçler üzerine etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak, aydınlatma ve yem kombinasyonlarının etlik piliçlerin abdominal yağının azaltılmasında bir metot olarak kullanılabilceği kanısına varmıştır.

Aksoy (2008), “Dış Mekân Aydınlatmalarının Bazı Bitki Türlerine Etkisi” başlığı altında bir çalışma gerçekleştirmiş. Gelin duvağı, Güvercin Üzümü, İpek Ağacı, Ağaç Hatmi, Çit Hatmi, Çalı Mine, Fıstık Çamı, Yalancı Akasya bitkileri üzerine dış mekân aydınlatmaları uygulamıştır. Gece sürekli kullanılan ışık kaynağı olarak 10 m yüksekliğinde kobra başlıklı çift yönlü 250 W’lık cıva buharlı lamba kullanılmıştır. Yapılan çalışmada gece sürekli aydınlatma yapılan alanda Fıstık Çamı, Ağaç Hatmi, Yalancı Akasya ve Çit Hatmi bitkileri üzerinde olumlu yönde bir etkilenme gözlemlenmiş ve diğer bitkiler üzerinde de olumsuz bir etki belirlenmemiştir. Bu nedenle araştırma konusu olan tüm bitki türlerinin sürekli gece aydınlatması olan alanlarda kullanılabilceği öngörülmüştür.

Yeh ve Chung (2009), “Yüksek parlaklıkta LED’ler – Işık Kaynaklarında Enerji Verimliliği ve Kapalı Bitki Yetiştiriciliğinde ki Potansiyeli” konusu üzerine çalışma yapmışlar. Bitkiler için farklı renkte LED’lerin özelliklerini incelemişlerdir. Yeşil ve sarı renk dalga boyları bitkilerin fotosentez olayı için önemli değildir. Fotosentez olayını en iyi etkileyen ışık renkleri kırmızı ve mavidir. Bu ışık niteliklerinin ototrofik büyüme alışkanlıkları ile ilişkili gelişimsel özelliklerin iyileştirilmesinde etkili olduğu görüşü ortaya sürülmüştür.

Uysal (2011), yazmış olduğu yüksek lisans tezinde “Tarımsal Aydınlatmada LED Işık Kaynaklarının Kullanım Olanakları” başlığı altında bir araştırma yapmış ve ışık kaynaklarının kullanım olanaklarının belirlenmesi amaçlı denemeler yürütmüş. Farklı renklerdeki Led’lerin Fotosentetik Aktif Radrasyon (FAR) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) değerleri CIE-2007 standardındaki A ve B durumları için belirlenmiş, 2 deneme olarak yapılmıştır. Üçüncü denemede ise sığla balsamı (*Liquidambar styraciflua* L.) bitkisinin doku kültürü ile üretimin de en düşük FAR değerinin ($50\pm 5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 16 saatlik fotoperiyot uygulamasında homojen olarak dağıtılabilmesi amacıyla 9 adet 1 W güçteki kırmızı LED’lerden oluşan LED aydınlatma sisteminin yerleşim geometrisi belirlenmiştir. Kare, üçgen, daire, paralelkenar gibi geometrik yapılar oluşturularak yerleşim geometrisinin FAR dağılımlarına etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu

denemenin sonucunda LED aydınlatma sistemlerinin tasarımında FAR değerlerinin homojen dağılımı açısından kare yerleşim planının en uygun olduğu kanısına varılmıştır. Son olarak bu çalışmada ekonomik analizde kullanılmak üzere tek bir flüorışıl lambanın aydınlatma düzlemi üzerindeki dağılımları da incelenmiştir. Sonuç olarak her bir tasarım alanı için belirtilen koşullar altında sığla balsamı bitkisinin doku kültürü ile mevcut flüorışıl lamba aydınlatma sistemleri yerine LED sistemlerinin kullanımı ekonomik açıdan daha cazip olduğu ortaya konulmuştur.

Islam ve ark. (2012), LED'ler tarafından sağlanan mavi ışığın yüksek oranda kullanımını (%20 mavi, %80 kırmızı) Atatürk çiçeği bitkisini yetiştirmek için benzer photochrome photostationary sağlayan geleneksel yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba ile karşılaştırmışlar. Toplam kuru madde birikimi, klorofil, yaprak alanı, çiçeklenme gibi birtakım özelliklerdeki değişimleri incelemişlerdir.

Çağlayan (2013), “Seralar İçin Led Lambalı Aydınlatma Otomasyon Sisteminin Tasarlanmasına ve Uygulanmasına Yönelik Bir Çalışma” başlığı altında bir araştırma yapmış. Araştırmacı bu çalışmada, sera ve bitki yetiştirme odaları için LED (Light Emitting Diode) lambalı bir aydınlatma otomasyon sistemi tasarlamayı amaçlamıştır. Çalışmada ayrıca domates (*Solanum lycopersicum*) fideleri üzerinde örnek uygulamalar gerçekleştirmiş ve elde edilen deneysel verileri değerlendirmiştir. Çalışma sonucunda tarımsal üretimde ihtiyaç duyulan aydınlatma değerlerini sağlayabilen bir aydınlatma otomasyon sisteminin tasarımı ve uygulamasını başarılı bir şekilde uygulamaya koymuştur.

Köksal, İncesu ve Teke (2013), “LED Aydınlatma Sisteminin Domates Bitkisinin Gelişimi Üzerine Etkileri” üzerine araştırma yapmışlar. Bitkiler plastik tünellerde yetiştirilmiş ve ışık kaynağı olarak; 1) Doğal güneş ışığı (kontrol grubu) 2) Gündüz saatlerinde güneş ışığı, güneş battıktan sonra ise kırmızı-turuncu ışık veren LED lambalar kullanılmıştır. Çalışma sonucunda bitkiler üzerinde kırmızı-turuncu LED ışık ile yapılan ek aydınlatmanın istatistiksel olarak farklılık yarattığı ortaya sürülmüştür.

Lin ve ark. (2013), “Kırmızı, Mavi ve Beyaz LED'lerin Suda Yetiştirilen Marul Bitkisinin (*Lactuca sativa* L. var. capitata) Yenilebilir Kalitesi ve Büyüme, Gelişmesi Üzerindeki Etkileri” hakkında bir araştırma yapmışlar. Daha önceki kaynaklardan kanıtlanan kırmızı ve mavi LED ışık kombinasyonlarının bitkilerin gelişimi ve

büyümesi için en etkili kaynak olduğu gerekçesinden yola çıkarak çalışma yapmışlar. Bundan dolayı bu çalışmanın amacı; marul yaprağında bitki biyokütlesi, klorofil birikimi, karotenoidler, çözülebilir protein, şekerin ve nitratın 3 farklı ışık niteliğinin üzerine etkisi incelenmiştir. Kırmızı-mavi (RB) LED kombinasyonları ile karşılaştırıldığında, kırmızı, mavi ve beyaz (RBW) LED uygulaması altında yetişen bitkilerde çözülebilir şeker ve protein içerikleri sırasıyla daha yüksek ve daha düşüktür. Ancak diğer uygulanan işlemler arasında marul yapraklarında klorofil, karotenoid ve çözülebilir proteinlerinde önemli bir farklılık görülmemiştir. İlave ışık kalitesi RBW LED ışığı altında yetiştirilen marul bitkisinin gelişimi ve besinsel değerini artırmak için kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

Efe (2014), “Katı Ortam Kültüründe Kıvırcık Yapraklı Salata Yetiştiriciliğinde İlave Led Aydınlatma Uygulamalarının Verim Kalite ve Bitki Gelişimine Etkileri” altında bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada güneş ışığına ilave olarak farklı renkli LED ışıkların (mavi, sarı, kırmızı, mavi+sarı, mavi+kırmızı, sarı+kırmızı, mavi+sarı+kırmızı) Funly F1 kıvırcık yapraklı salata çeşidi üzerindeki çeşitli etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak güneş ışığına ilave olarak uygulanan farklı renkli LED ışık kaynaklarının bitki özellikleri üzerine etkisi istatistiksel düzeyde önemli farklılıklar yarattığını ortaya koymuştur. Kıvırcık yapraklı salata yetiştiriciliğinde gün ışığına ilave olarak yapılacak LED aydınlatma uygulamasında, bitki gelişimini pozitif yönde etkilemesinin yanı sıra, yaprakların nitrat içeriğini de ciddi oranda düşürdüğü için mavi+sarı+kırmızı LED kombinasyonu kullanılabilceği sonucunu ortaya koymuştur.

Choi ve ark. (2014), büyüme odası ve plastik seralarda yetiştirilen çilek üretiminde LED ışık kaynağının etkisini araştırmışlardır. Yetiştirme işlemlerini büyüme odası ve plastik serada gerçekleştirmişler. Büyüme odasında tek ışık kaynağı olarak LED ışıklarını kullanmış, plastik serada ise ortam ışığına ek olarak verilen LED aydınlatmasını kullanmışlardır.

Ptushenko ve ark. (2015), eşit fotosentetik aktif radyasyon yoğunluklu geniş spektrumlu yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba ile karşılaştırıldığında dar bantlı kombine kırmızı ve mavi LED ışıkları altında çin lahanasının (*Brassica chinensis* L.) gelişimindeki düşüşün olası nedenlerini araştırmışlardır.

Kasım (2016), ışık yayan diyot (LED) teknolojisinin meyve ve sebzelerin hasat sonrası dönemindeki etkileri konusunda bir araştırma yapmış. Bu çalışmada ışık kaynağı olarak kırmızı, yeşil, mavi, beyaz LED kullanılmış. Bitkilerin ve bitki ürünlerinin hasat sonrası depolanmasında farklı renkte LED aydınlatmaları kullanılarak bir çalışma yapılmıştır. Mavi LED çileklerde antioksidant enzim aktivitesini, lahanalarda C vitamininin artırılmasında etkili olmuştur. Kırmızı LED brokolide askorbik asit miktarının arttırılmasında etkili olurken, beyaz ışık marullarda karotenoidlerin parçalanmasını yavaşlatmaktadır. Ancak bu çalışma belirli türlerle sınırlı kalmıştır.

Şenol ve ark., (2016), “LED Bitki Büyüme Ünitesi İçin Darbe Zamanlama Kontrolü Ve Karanfil Üzerindeki Etkileri” konusunda bir çalışma gerçekleştirmişler. Bu çalışmada tünel tipi tam otomatik sera koşullarında LED ışınlarına PWM (Darbe Genişlik Modülasyonu) yöntemini kullanmışlardır. Farklı dalga boylarındaki kırmızı ve mavi LED ışıklarını dört farklı çalışma modlarında karanfilin üzerine uygulamışlar. Karanfilin büyümesi ve gelişmesindeki etkileri gözlemlemiş ve sonuçları güneş altında yetişen bir serada büyütülen karanfil ile karşılaştırmışlardır.

Hernandez ve ark. (2016), çalışmalarında soğuk beyaz flüoresan lambalar ve LED’lerin 7 farklı mavi-kırmızı foton akısının yüzdesel değerleri altında domates tohumlarının büyümesini ve morfolojik etkilerini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Domates tohumlarını iklim kontrollü büyüme odalarında yetiştirmişlerdir.

Demirsoy ve ark., ise 2016 yılında yapmış oldukları bir çalışmada “Farklı Işık Kaynağı ve Renk Uygulamalarının Patlıcan (*Solanum melongena* L.) Fidelerinin Büyüme Parametreleri Üzerine Etkileri” konusunu araştırmışlar. Bu çalışmada; sera koşullarında yetiştirilen patlıcan fidelerinin büyümesi ve fide kaliteleri üzerine farklı dönemlerde (sonbahar ve ilkbahar), üç farklı ışık kaynağının (yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba, akkor telli lamba ve ışık yayan diyot lamba) ve bunların iki farklı renginin (kırmızı ve mavi) etkilerini incelenmişlerdir. Araştırma sonucunda, patlıcan fidelerinde yapay ışık kaynağı kullanımının yapraklanma sayısı, gövde çapı, oransal gövde ağırlığı ve oransal yaprak ağırlığı gibi özellikler yönünden olumlu yönde öne çıktığı saptanmıştır.

Chen ve ark. (2017), LED’ler tarafından sağlanan alternatif kırmızı ve mavi ışığın marulun büyüme ve besin özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada

kırmızı ve mavi LED ışıklarının bitki üzerindeki etkisini ortaya koyabilmek için, kırmızı ve mavi LED ışıklarını farklı zaman aralıklarında ve farklı kombinasyonlar ile bitki üzerine uygulamışlardır.

Çakırer, Akan, Demir ve Yanmaz (2017), yayınlamış oldukları bir makalede “Bahçe Bitkilerinde Kullanılan Işık Kaynakları” konusunu incelemişler. Bitkisel üretimde yaygın olarak kullanılan akkor telli lambalar, metal halojen lambalar, flüoresan lambalar yüksek basınçlı sodyum buharlı deşarj lambaları ve LED ışık kaynaklarının bitkiler üzerindeki etkilerini ayrı başlıklar altında incelemişler ve bitkiler üzerindeki etkilerini ortaya koymuşlardır.

Bu çalışmada literatürdeki çalışmalardan farklı olarak ışık üretim yolları ile üretilen aydınlatma kaynakları esas alınmıştır. Termik, deşarja dayanan ve elektrolüminesans yollarla üretilen yapay aydınlatma kaynaklarının bitkiler üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Akkor flamanlı (enkandesan) lamba, LED, sodyum buharlı deşarj lamba, cıva buharlı deşarj lamba ve metal halojenli deşarj lamba sistemleri kurularak bu sistemler altında yetiştirilen buğday ve arpa bitkileri üzerindeki fiziksel ve kimyasal etkileri incelenmiştir.

3. KURAMSAL TEMELLER

3.1. Elektriğin Tarihsel Gelişim Süreci

İnsanoğlunun yaşamını sürdürebilmesi için enerjiye ihtiyacı vardır ve ilk insandan bu yana enerji ile birlikte ışığa da ihtiyaç duyulmuştur. İnsanların yanı sıra hayvanlar ve bitkiler için de ışık önemli bir faktördür. Güneş ve ay ışığının yeterli olmadığı durumlarda, insanlar yapay aydınlatma kaynakları bulmaya yönelmiştir. Geçmişten beri çok çeşitli kaynaklardan yararlanılmaktadır. Bu aydınlatma kaynakları çağlara ve bölgelere göre farklılık göstermektedir. Aydınlatma lambalarının geçmişinin MÖ üç bininci yıllara kadar uzandığından bahsedilmektedir. İnsanlar çok eski devirlerden beri çıra, mum, meşale, yağ kandillerini aydınlatma araçları olarak kullanmışlardır. Evler mumlar ile aydınlatılırken, sokaklar ise kandiller ve fenerler ile aydınlatılmıştır. Geçmişten günümüze kadar bu aydınlatma araçları gelişen teknoloji ile sayesinde sürekli yenilenmektedir. Bizans döneminde mumhanelerin artmasıyla birlikte balmumu ve hayvan yağı yakılarak kullanılan kandillerin evlere girerek kullanımı artmıştır (Çoşkun, 2013).

18. yüzyılın son dönemlerinde gaz kullanılmaya başlanmış ve 18. yüzyılın sonlarında, sanayileşmiş olan pek çok ülkede elde bulunan ışık kaynaklarının verimliliği tartışılırken gaz şirketleri tarafından uygulanan baskı ile gaz lambalarının kullanımı yaygınlaşmıştır. O dönemlerde birçok gösteri salonunda gaz lambalarından kaynaklanan yangınların çıkması büyük dikkat çekmiştir. Uluslararası Aydınlatma Komisyonu'nun kurulması (CIE) kurulması 1900'de Paris Uluslararası Gaz Kongresi'nde olmuştur (Çalkın ve Türkoğlu, 2011).

Osmanlı zamanında şehir sokaklarının düzenli olarak aydınlatılması ilk kez Tanzimat Fermanı (1839) sonrasında gündeme gelmiş, halktan konaklarının ve dükkânlarının önüne kandil konulması istenmiştir. Evlerde havagazı ile yanan lambalar, sokaklarda ise havagazı ile yanan fenerler kullanılmıştır (Özdemir, 2011). Ülkemizde ilk kez 1856 yılında Dolmabahçe Sarayı'nın içinde bir gazhane kurulmuş ve saray aydınlatılması için buradan yararlanılmıştır. Elde edilen gaz fazlasıyla Sultan Abdülmecid döneminde de Beyoğlu bölgesi aydınlatılmıştır (Çalkın ve Türkoğlu, 2011). Anadolu yakasında cadde sokak ve tarihi mekânların gece aydınlatma yapılması amacıyla kurulan ilk sanayi

tesislerinden biri olan Kuzguncuk Gazhanesi İstanbul'un ikinci gazhanesidir. İlk başlarda saray aydınlatması için yapılmış olan bu tesis, artan gaz ile de Üsküdar'ın cadde ve sokakları aydınlatılmıştır (Özdemir, 2011). Türkiye'de ilk elektrik üretim santrali Mersin-Tarsus da özel bir şirket tarafından kurulmuştur. İstanbul'da ise kamu işletmesi tarafından ilk elektrik santrali 1913 yılında Silahtarğa'da kurulmuştur (Salman, 2008). Beyazıt, Tozkoparan ve İstinye olmak üzere üç ayrı dönüştürücü/transformatör merkezi kurulmuştur ve santralden bu bölgelere enerji çekilmiştir. 1920'lerden sonra elektriğin yaygın olarak kullanılmaya başlanmasıyla aydınlatma için kullanılan havagazı önemini yitirmeye başlamıştır (Çalkın ve Türkoğlu, 2011; Çoşkun, 2013).

Elektriğin pratikteki kullanımı çok yeni olsa da elektrik kavramının doğuşu, düşüncesi ve gelişimi oldukça eskiye dayanmaktadır. Kehribar sözcüğü elektrik ve mıknatıs kelimelerinin kökenini oluşturur. Bu sözcüğün kaynağı eski Yunancadan gelen 'elektron' sözcüğüdür. Kehribarın yünle ovulduğunda hafif maddeler üzerinde oluşturduğu etkiyi fark eden Thales bugünkü adıyla statik elektriği bulmuştur. Avrupa da statik ve manyetizma arasındaki farklar ve benzerlikler araştırma konusu olmuş, Bilim adamı William Gilbert statik elektrik ve manyetizma arasındaki farkları ilk olarak ortaya koymuştur (Özdemir, 2016).

Elektriğin sanayi, sokak, cadde, evlerde kullanılmaya başlama süreci 19. yüzyılın ikinci yarısına denk gelmektedir. Elektrik enerjisinin havai hatlar kullanılarak etkin bir şekilde iletebileceğini 1873'te bilim adamı Gramme ortaya koymuştur. Akkor lambayı icat eden Thomas Edison, ilk elektrik üretim şirketini kurması elektrik enerjisinin günlük yaşamda ve sanayide yaygın bir şekilde kullanılmasının başlangıcını oluşturmuştur. Edison iki elektrik jeneratörünü çalıştıracak bir buhar makinesi ve kazandan oluşan ufak bir elektrik santrali kurmuştur. Bu santral doğru akımla düşük voltajlı elektrik veren 2,5 kilometrekarelik dağıtım sistemi olup 100 kW güçte ve 1200 adet lambayı aydınlatılabilmekteydi (Özdemir, 2011).

Gün geçtikçe artan endüstriler ve enerjinin uzun mesafelere iletilmesi ihtiyacı, Edison'un kurduğu düşük voltajlı "doğru akım" santrallerini kısa zaman içinde yetersiz bırakmıştır. Bu ihtiyaç doğrultusunda farklı bir bakış açısı ortaya atılmıştır. George Westinghouse ile birlikte yaptığı çalışmalarla Nikola Tesla "alternatif akım" olarak adlandırılan yöntemi bulmuştur ve bu yöntem Edison'un bulduğu yöntemi geride

bırakmıştır. Aynı zamanda elektrik voltajının yükseltilerek uzun mesafelere iletebileceği elektrik sisteminin zeminini oluşturmuştur. Ve böylece elektrik gücüne geçiş başlamıştır. 19. yüzyılın sonlarında ve 20. yüzyılın başlarında elektrik üretim ve dağıtımdaki gelişen teknolojik gelişmeler ile birlikte elektrik santrallerinin sayısı artmış ve bununla birlikte elektrik yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Böylece buhar gücünün yerini elektrik enerjisi olarak ikinci sanayi devrimi olarak adlandırılan yeni bir döneme geçiş yapılmıştır. Fabrikalarda elektriğin enerji kaynağı olarak kullanılmasını aydınlatılan cadde ve sokaklar, mağazalar, panolar, apartmanlar gibi üretim süreçlerinden işletme organizasyonlarına kadar birçok alanda büyük değişimler gerçekleşmiştir (Özdemir, 2011).

Kısacası; ilk çağlarda mum, çıra, fener gibi ilkel yollarla aydınlatma, ısıtma yapılırken, havagazının keşfedilmesiyle Dünya'nın her yerinde havagazı kullanımı yaygınlaşmıştır. Sanayide ki artan talepler doğrultusunda havagazı yetersiz kalmaya başlamıştır. Elektrik enerjisinin keşfi ve ilerleyen zamanlarda kullanımının yaygınlaşması ile havagazı kullanımı azalmaya başlamıştır. Başlangıçta doğru akım ile kısa mesafelere elektrik enerjisi iletilirken, alternatif akımın bulunması ile uzun mesafelere de elektrik iletilmesine olanak sağlamıştır. Elektrik enerjisi ile aydınlatma insanların gün içerisindeki yaşama süresini uzatmıştır. Ve günümüzde elektrik enerjisi ile aydınlatma vazgeçilmez bir parçasını oluşturmuştur.

3.2. Aydınlatma

Enerji yaşamımızı sürdürmek için kullandığımız en temel yapıtaşlarından biridir. İnsanoğlu geçmişten günümüze birçok enerji kaynağından faydalanmıştır. Bu kaynaklar gelişen teknolojiye bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir. Elektriğin keşfedilmesiyle birlikte kullanılan eski kaynaklar yerini elektrik enerjisine bırakmıştır. Türkiye'de tüketilen elektrik enerjisinin aydınlatma için kullanılan kısmı toplam enerjinin yaklaşık %20-25'ini oluşturur.

Uluslararası Aydınlatma Komisyonunca (Committee Internationale l'Eclairage, CIE) tanımlanmış olan aydınlatma kavramı "Nesneler ve çevrelerinin gereği gibi görülebilmesini sağlamak amacıyla ışık uygulanması" şeklinde tanımlanmaktadır (Ünver, 2000). Işık ise göze etki eden özel bir enerji şeklinde tanımlanır. Işık ile ilgili

ortaya atılan iki teori vardır. İlk teori ışığın elektromanyetik bir dalga olduğu, ikinci teori ise ışığın foton adı verilen kütsüz parçacıklardan oluştuğu yönündedir (Özkaya, 2004).

Işık tüm canlılar üzerinde bir etki oluşturmaktadır. İnsan ve hayvan bünyesindeki etkilerinin yanı sıra bitkiler içinde yeterli ışık alınabilmesi önemli bir parametredir. Bitkiler iyi bir gelişim sağlayabilmek için ışığa ihtiyaç duyarlar. Işık kaynağı ise güneş veya güneşin yetersiz kaldığı zamanlarda ise yapay ışıklardır. Bitkiler için en önemli etkenlerden biri olduğunu düşündüğümüz aydınlatmanın bitki üzerinde oluşturduğu etkileri inceleyebilmemiz açısından çalışmamızda ışık, aydınlatma, bunlara ait teorik büyüklükler ve ışık üretim yolları ile üretilmiş aydınlatma çeşitleri konusuna değinilmiştir.

3.2.1. Işık kaynakları bakımından aydınlatma türleri

Işık kaynağı bakımından aydınlatma türleri ise doğal aydınlatma ve yapay aydınlatma olarak iki ana başlık altında toplanmaktadır. Birincisi güneş ışığı ile oluşan doğal aydınlatmadır. İkincisi insanın icat ettiği en önemli kaynak diyebileceğimiz yapay aydınlatmadır.

3.2.1.1. Doğal aydınlatma

Doğal aydınlatmada ana kaynak Güneştir. Günışığı; güneş ve gök ışığının farklı oranlarda birleşmesiyle oluşmaktadır. Gün ışığı ile yapılardaki pencere ve kapı gibi boşluklar yardımıyla yapılan aydınlatma doğal aydınlatma olarak tanımlanmaktadır. Doğal aydınlatmanın en önemli avantajı renkleri, cisimleri ve hacimleri en doğal ve gerçeğe en yakın haliyle algılamamızı sağlar. Doğal aydınlatma gün içindeki saatlere ve yıl boyunca yaşanan mevsimlere göre sürekli değişkenlik gösterir. Yapay ışık kaynakları gibi sabit değildir. Bu da doğal ışığı yapay ışık kaynaklarından ayıran en önemli özelliktir (Özkum, 2011).

3.2.1.2. Yapay aydınlatma

Aydınlatma işlevinin gün ışığı dışında çeşitli aydınlatma elemanları yardımıyla sağlanması olayına yapay aydınlatma denmektedir (Yener, 2007). Doğal ışığın ortamı aydınlatmada yetersiz kaldığı durumlarda ihtiyaç duyulan aydınlatma türüdür. Yapay aydınlatma ile istenilen zamanda, istenilen yerde, istenilen seviyede aydınlatma

sağlanır. İlk zamanlarda ateşle birlikte keşfedilmiş, sonradan gelişen teknoloji ile aydınlatma elemanları tasarımları ortaya çıkmıştır. Mum, akkor telli lamba, deşarj lambaları, led yapay aydınlatma kaynaklarına örnek olarak gösterilebilir.

3.2.2. Aydınlatmanın niceliği ve niteliği

3.2.2.1. Aydınlatmanın niceliği

Aydınlatmanın niceliği tek boyutlu bir kavram olup, ortamdaki aydınlık düzeyi kavramıyla ilgilidir. Aydınlık düzeyi karanlıktan aydınlığa doğru bir değişim gösterir (Sirel, 1992). Hacimler için gerekli olan aydınlık düzeyleri, hacmin kullanım amacına bağlı olarak farklılık gösterir.

3.2.2.2. Aydınlatmanın niteliği

Aydınlatma niteliği karmaşık ve çok boyutlu olup, ışığın rengini, renksel geriverimini, aydınlık düzeyinin dağılımını ve gölge konularını içeren bir kavramdır. Görsel algılama konusunun özelliklerine göre aydınlatma niteliğinin belirlenmesi gerekir. Görme olayının kusursuz ve eksiksiz bir şekilde gerçekleşmesi büyük önem taşır. Bu amaçla görme konusuna değinmemiz gerekmektedir. Görme olayı ışığın göze gelmesiyle başlar. Işğın görme sinir sistemlerinde meydana getirdiği darbelerin beyindeki görme merkezine iletilmesi ile algı oluşur. Böylelikle görme olayı tamamlanır (Sirel, 1992).

3.2.3. Işğın yönlendirilmesine göre aydınlatma türleri

Gün ışğının yetersiz kaldığı veya hiç olmadığı alanlarda aydınlatma sistemleri kullanılır. Aydınlatma araçlarından çıkan ışğın aydınlatılacak yüzeye hangi yönde ve hangi yansıtma şekilleri ile gönderildiği aydınlatma biçimini belirlemektedir. Aydınlatma ışğın yüzeye ne şekilde geldiğine yani aydınlık düzeyi dağılımına göre ise kendi içinde 5 gruba ayrılmaktadır.

3.2.3.1. Direkt (dolaysız) aydınlatma

Aydınlatma araçlarından çıkan ışğın %90'ı ile %100'ü oranında, doğrudan doğruya aydınlatılacak düzleme yollayan aydınlatma şeklidir. Aydınlatma aracığıyla ışık direk olarak çalışma düzlemine yönlendirildiği için en yüksek verim sağlanmaktadır. Direkt aydınlatmalara örnek olarak spotlar verilebilir. Bu aydınlatma biçimi yüksek tavanlı yapılar, makine dairesi, atölye ve depolarda kullanılır (Gordon, 2003; Karamanlı, 2016).

3.2.3.2. Yarı direkt (yarı dolaysız) aydınlatma

Işığın %60'ı ile %90'ı arasındaki kısmı, doğrudan aydınlatılacak düzleme yollayan aydınlatma şeklidir. Işığın bir kısmı ise aydınlatılacak ortamdaki yüzeylerden yansarak çalışma düzlemine gelir. Yemek ve oturma odaları, ofisler ve tavan yüksekliği normal olan alanlarda tercih edilen bir aydınlatma biçimidir (Gordon, 2003).

3.2.3.3. Karma (homojen) aydınlatma

Karma ışık veren armatürler ile ışığın %40'ı ile %60'ı arasında kalan oranı aydınlatılacak düzleme yollayan aydınlatma türüdür. Aydınlatma aracı olan ışık her yöne homojen bir şekilde dağılır. Bu aydınlatma türünde ışığın bir kısmı tavan ve duvarlardan yansarak aydınlatılacak düzleme gelir. Bu açıdan tavan ve duvar yansıtıcıları bu aydınlatma türüne örnek olarak verilebilir (Dursun, 2005).

3.2.3.4. Yarı endirekt aydınlatma (yarı dolaylı) aydınlatma

Işığın %10'u ile %40'ı arasında kalan kısmını aşağı doğru, %90'ı ile %60'ı arasında kalan kısmını ise yukarı doğru gönderen armatürlerle yapılan aydınlatma şeklidir. Bu aydınlatma türünde yansıma ve kamaşma az olduğu için gözlerde rahatsızlık hissi oluşturmaz. Kütüphane, dinlenme odaları ve misafir salonlarında tercih edilen aydınlatma türüdür (Şahin, Büyüktümtürk ve Oğuz, 2014).

3.2.3.5. Endirekt (dolaylı) aydınlatma

Endirekt aydınlatma sisteminde ışığın %90'ı ile %100'ü yukarıya doğru verilirken, %10'u ile %0'ı aşağıya doğru yansarak aydınlatma yapılır (Şahin, Büyüktümtürk ve Oğuz, 2014). Aydınlatılacak düzlemde aydınlığın ağırlık olarak tavana ve duvarın en üst kısımlarına doğru verildiği aydınlatma sistemleridir. Yumuşak bir aydınlatma sağlar ve kamaşma, parıltı gibi sorunlar yoktur. Endirekt aydınlatmaların maliyeti direkt aydınlatmalara göre yüksektir (Eser, 2013).

3.3. Fotometri ve Fotometrik Büyüklükler

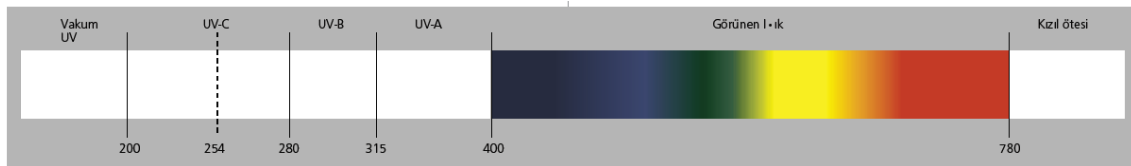
Bitkiler için en önemli etkenlerden biri olduğunu düşündüğümüz ışık ve aydınlatmanın bitki üzerinde oluşturduğu olumlu veya olumsuz etkilerinin en iyi şekilde anlaşılması için çalışmamızda ışığın en temel prensiplerinin incelenmesi gerektiği düşünülmüştür.

3.3.1. Fotometri

Türkçe karşılığı “ışık ölçme” anlamına gelen fotometri sözcüğü yabancı dilden gelmektedir. Etrafımızdaki cisimleri güneş ışığı veya yapay ışık kaynaklarından gelen ışınımın o nesneden yansyarak gözümüze ulaşması sonucunda algılamaktayız. İnsan gözünün duyarlı olduğu 380-780 nm arasındaki dalga boylarını kapsayan görünür bölge ışınımı ve ışık için yapılan tüm ölçümler fotometri alanının konusudur. Bu alandaki temel nicelik ışık şiddetidir. Işık şiddeti SI (Uluslararası Birimler Sistemi) yani yedi temel ölçüm biriminden biri olan *kandela* (*cd*) ile ifade edilmektedir. Fotometrik ölçümler bir laboratuvar ortamında ışık ile ilgili yapılan ölçümlerdir. Lüksmetre ve lüminansmetre cihazları bu ölçümleri yapmak için kullanılır (Türkoğlu, 2009).

3.3.2. Işık

Işık göze etki eden enerjinin dalga veya foton şeklinde yayıldığı özel bir enerji türü şeklinde tanımlanmaktadır. Dalga teorisine göre ışık elektromanyetik dalga (radyasyon) teorisinin özel bir şeklidir. Elektromanyetik spektrum (tayf), elektromanyetik dalgaların dalga boylarına göre sıralanmasıyla oluşur. Elektromanyetik tayfin kızılötesi ve morötesi bölgeleri arasında kalan 380-780 nm dalga boyları arasındaki elektromanyetik dalgalar görünür ışık olarak algılanmaktadır (Coaton and Marsden, 1997). Elektromanyetik spektrum ait bir görsel Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Elektromanyetik spektrum (Pelsan, 2018).

3.3.3. Işık akısı

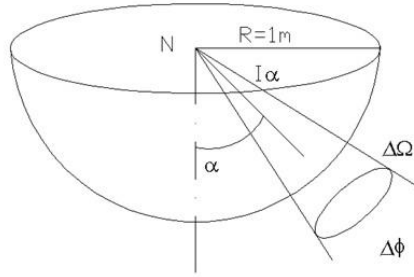
Sağlıklı normal gözün aydınlık görmesine ait spektral duyarlılık eğrisine göre ışık olarak değerlendirilen enerji akısıdır. Birim zamanda yüzeye düşen ışık miktarı olarak tanımlanmaktadır. Birimi lümen'dir. Işık akısı Φ harfi ile gösterilir. Aydınlatma için kullanılan armatürlerin ve ışık kaynaklarının ışık akısı değerleri mutlak olarak üç ekseninde hareketli ölçümler yapan goynofotometre ile ölçülür.

$$\Phi = K_o \times F \times V_\lambda \quad (3.1)$$

Denklem 3.1’de verilen K_o (683 lm/W) enerji akısının fotometrik (ışık sal) eşdeğerini, F birim zamandaki enerji akısını, V_λ ise gözün spektral duyarlılığını gösterir (Öztürk, 2011).

3.3.4. Işık şiddeti

Birim zamanda belirli bir doğrultuda yayılan ışığın yoğunluğu ile ilgili bir kavramdır. Noktasal ışık kaynakları için tanımlanır ve I harfi ile gösterilir. Birimi candela’dır. Noktasal bir ışık kaynağının herhangi bir α doğrultusundaki ışık şiddeti (I_{α}), bu doğrultuyu içine alan bir $\Delta\Omega$ uzay açısından çıkan $\Delta\Phi$ ışık akısıdır ve $\Delta\Phi / \Delta\Omega$ ‘ya ortalama ışık şiddeti denir. Şekil 3.2’de ışık şiddetine ait bir görsel verilmiştir.

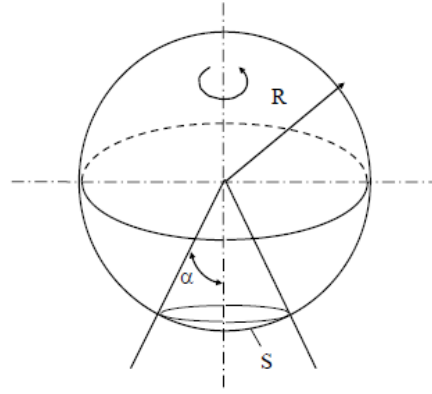


Şekil 3.2. Işık şiddeti.

3.3.5. Uzay açısı

Yarıçapı r olan bir daire düşünürsek, noktasal ışık kaynağı merkezde α açısı yapan bir düzlem olmak üzere tepe noktası sabit tutulup eksenini etrafında çevrilirse α açısının gördüğü yay bir küre parçası oluşturur (Şekil 3.3). Oluşan bu küre parçasının S alanının, r yarıçapının karesine bölümüne “uzay açısı” denir. Uzay açısı eşitliği aşağıdaki denklem 3.2’de olduğu gibi ifade edilir (Özkaya, 2004).

$$\Omega = S/r^2 \quad (3.2)$$



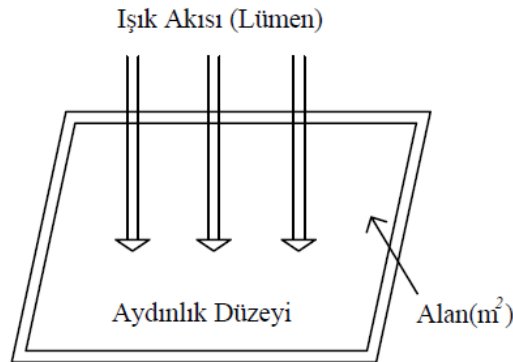
Şekil 3.3. Uzay açının tanımı (Özkaya, 2004).

3.3.6. Aydınlık düzeyi

Aydınlık seviyesi birim alana düşen ışık akısının dik bileşeni olarak tanımlanmaktadır. Birimi lüks (lux) olup, sembolü “E” harfi ile gösterilir. Bir ışık kaynağından çıkan ışık akısının belirli bir mesafede duran aydınlatılacak yüzeyin alanına oranı şeklinde tanımlanır. Aydınlatılacak yüzeyde oluşan aydınlık düzeyi yüzeyin türüne, cinsine bağlı değildir. Aydınlık düzeyi sadece yüzey üzerine gelen ışık akısının bir yoğunluğudur. Şekil 3.4’te aydınlık düzeyi ve ışık akısı gösterilmiştir.

$$E = \Phi / S \quad (3.3)$$

Denklem 3.3’de aydınlık düzeyi eşitliği verilmiştir. Φ lümen olarak ve S de m^2 olarak alınırsa aydınlık düzeyinin birimi lux olur (Çoban, 2010; İmert, 2008).



Şekil 3.4. Aydınlık düzeyi ve ışık akısı.

Aydınlatma seviyesi ve ışık şiddeti arasında bir ilişki söz konusudur (Denk. 3.4).

$$E = I(\cos\alpha) / d^2 \quad (3.4)$$

d ışık kaynağı ile yüzey arasındaki uzaklık, α ışık kaynağından gelen ışınların yüzeyin normali ile yaptığı açı olmak üzere; aydınlık seviyesi, ışık kaynağından uzaklığa ve ışınların yüzeye düşme açısına bağlıdır. Dolayısıyla kaynak yüzeye ne kadar yakınsa aydınlık seviyesi o kadar büyük olur.

3.3.7. Parıltı (Lüminans)

En genel tanımıyla parıltı, göze etki eden bir aydınlatma kaynağının ışıksal büyüklüğü ile alakalıdır. Bir yüzeyin bir α doğrultusundaki parıltısı, o doğrultudan görülebilen ışık şiddetinin bu doğrultuya dik düzlem üzerindeki izdüşümüne oranıdır. Parıltının birimi cd/m^2 'dir ve sembolü L harfi ile gösterilir.

3.3.8. Işıksal etkinlik (etkinlik faktörü)

Bir aydınlatma elemanının etkinlik faktörü veya ışık verimi, o ışık kaynağından çıkan ışık akısı ve ışığın gücü ile bağlantılıdır. Birimi lm/W olan etkinlik faktörünün, kaynağın toplam ışık akısının kaynak gücüne oranı diye ifade edilmektedir. Sembolü η ile gösterilir. Işık verimi enerji tasarrufu sağlamak ve ışık sisteminin maliyetlerini düşürmek için kullanılan en vazgeçilmez ekonomik faktördür (İmert, 2008; Nakamura ve Chichibu, 2000).

3.3.9. Renk

Renk sözcüğünü 3 ifade ile belirtebiliriz. Bunlar; tür, doymuşluk ve değer kelimeleridir. Işığın dalga boyuna bağlı kalarak mavi, sarı ve kırmızı gibi görünen renk çeşitleri ışığın renk türünü ifade etmektedir. Renksel doymuşluk, renklerde ki canlılık ve solgunluğu, renk değeri ise renklerin açıklık ya da koyuluğunu ifade etmektedir. Cisimlerin gerçek renkleri tüm görülebilir dalga boylarını aynı oranlarda içinde barındıran kuramsal beyaz renk dediğimiz ışığın altındaki rengidir. Güneşten gelen ışık da kuramsal beyaz ışığın niteliğini taşımaktadır. Görünen renklerin gerçek (öz) renge yakın olması rengin doğru şekilde algılanmasını ifade etmektedir. Cisimlerin görünen renkleri, cisimlerin geçirme veya yansıtma faktörlerine ve aydınlatma elemanının ışık renk özelliklerine bağlıdır. Aydınlatma elemanlarının ışık rengi ise tayflarında oluşan ışığın yoğunluğu ile ilgilidir (Ünver, 1998; Sirel, 1997).

3.3.9.1. Renk sıcaklığı

Renk sıcaklığı, bir lambanın ışığının açık olduğu zaman nasıl görüldüğünü ifade etmektedir. Teorik olarak ise; siyah bir cisme ısı enerjisi verildiği zaman ısınmaya başlar ve belirli bir seviyeye erişince renk yaymasına denmektedir. Mutlak sıfır (-273 °C) sıcaklığından başlayan bir ölçek olan Kelvin (°K) ile ölçülür (Gordon, 2003). Genellikle aydınlatma için beyaz veya gün ışığı rengi en çok talep gören, istenen ışık renkleridir. Tablo 3.1’de ışık renkleri ve bunlara karşılık gelen renk sıcaklık değerleri verilmiştir (Gordon, 2003; İmal, 2007).

Tablo 3.1. Renk sıcaklığı aralık değerleri.

Işık Renkleri	Renk Sıcaklık Aralıkları (°K)
Sıcak (Kırmızimsı Beyaz)	<3300
Orta Sıcak (Beyaz)	3300-5300
Soğuk (Mavimsi Beyaz)	>5300

3.3.9.2. Renksel geriverim indeksi

Işık kaynağı ile aydınlatılan yüzeyin gerçek renklerinin gösterilmesinin ölçüsüdür. Ra ile simgelenir. Renksel geriverim indeksi 0 ile 100 arasında yüzdesel bir değere sahiptir. Eğer bir ışık kaynağının renksel geriverimin değeri 100 ise bu ışık kaynağı tüm renkleri optimal olarak göstermektedir. Renksel geriverim ne kadar yüksek olursa renksel değişimi ve bozulma daha düşük olmaktadır (Gordon, 2003).

3.4. Fotometrik Yasalar

3.4.1. Uzaklığın karesi ile ters orantı yasası

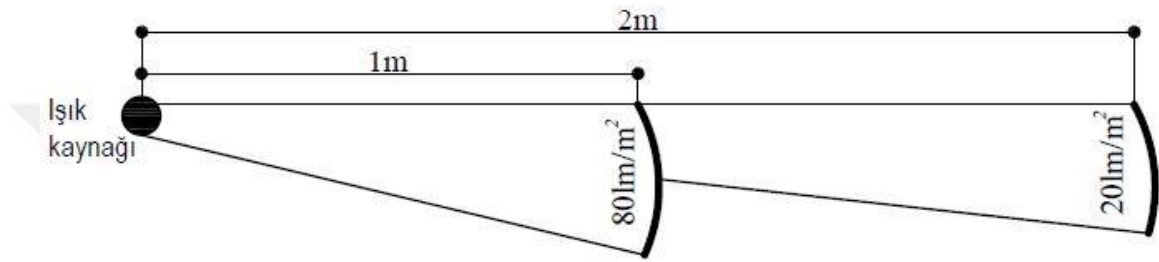
S yüzeyini bir ışık kaynağı ile aydınlattığımızda, aydınlatılan yüzey ışık kaynağından uzaklaştırılırsa ışık azalır ve ortam ışık kaynağının olduğu yere göre daha karanlık olur. Teorik olarak, bir noktasal ışık kaynağı α doğrultusunda I ışık şiddetini oluşturuyorsa bu doğrultu ile dik düzlemde olan aydınlık düzeyi, düzlemin kaynak ile arasında kalan uzaklığının karesi ile ters orantılıdır. Buna uzaklığın karesi ile ters orantı yasası

denmektedir. Bu kanun sadece ışık kaynağının noktasal olduğu durumlar için kullanılır. Aşağıda Şekil 3.5'te uzaklığın karesi ile ters orantı yasası gösterilmiştir.

Düzlemde oluşan aydınlık seviyesi E_n , ışık şiddeti I olmak üzere ve ışık kaynağına olan uzaklık ise d olmak üzere;

$$E_n = I/d^2 \quad (3.5)$$

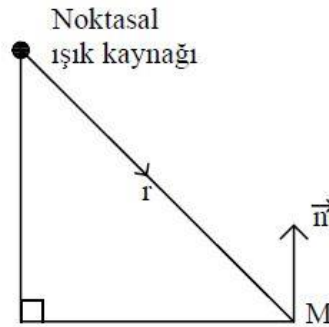
Yukarıda oluşturulan denklem 3.5'te elde edilir.



Şekil 3.5. Uzaklığın karesi ile ters orantı yasası (Öztürk, 2011, s.35).

Aşağıdaki denklem 3.6'da noktasal aydınlatma formülü ve Şekil 3.6'de ise noktasal aydınlatma formülüne ilişkin bir görsel verilmiştir.

$$E_m = \frac{I\alpha}{r^2} \cdot \cos\alpha \quad (3.6)$$



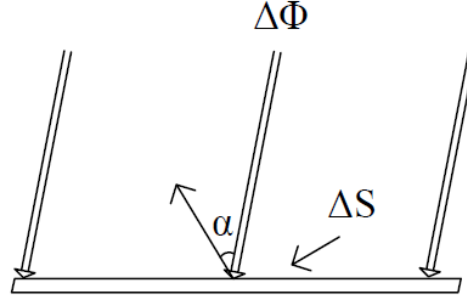
Şekil 3.6. Noktasal aydınlatma formülü.

3.4.2. Kosinüs yasası

S yüzeyine paralel olarak gelen bir ışık demeti ve ışık akısının yüzeye geliş açısına bağlı olarak yüzeydeki aydınlık şiddeti değişiklik gösterir. Yüzeyde oluşan aydınlık şiddeti ışık akısı sabit kabul edildiği takdirde aydınlık şiddetinin değişimi sadece arada kalan α

açısının kosinüs değerine bağlı olur. Yüzeze gelen ışık açısı ne kadar dik olursa aydınlık şiddeti de o doğrultuda yüksek olacaktır. Şekil 3.7’de kosinüs yasasına ait bir şekil verilmiştir. Denklem 3.7’de kosinüs yasasının denklemi verilmiştir (Taylor ve Alma, 2000).

$$E_{\alpha} = E \cdot \cos \alpha \quad (3.7)$$



Şekil 3.7. Kosinüs yasası tanımı.

3.4.3. Uzak açı izdüşüm yasası

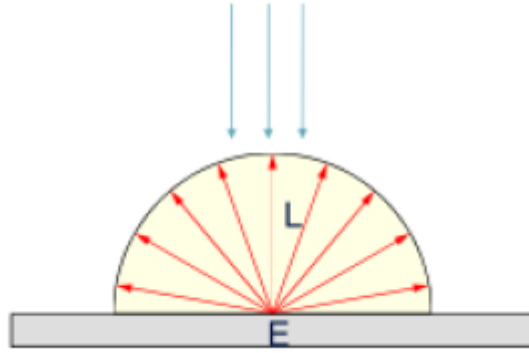
Lambert yasasına uygun ışık yayan bir S yüzeyinin, çalışma düzleminin bir P noktasının normali ile α açısı yapar ve denklem 3.8’de gösterilen formül uzak açının çalışma düzlemindeki izdüşümü olup uzak açı izdüşümü adını alır. Bu doğrultuda çalışma düzlemindeki bir P noktasının (E) aydınlık seviyesi denklem 3.9’da gösterilen bağıntıya da uzak açı izdüşüm yasası denir (Özkaya, 2004).

$$d\Omega' = \cos \alpha \, d\Omega \quad (3.8)$$

$$E = \int dE = \int L d\Omega' \quad (3.9)$$

3.4.4. Lambert yasası

Lambert yasasına göre ışık yayan bir yüzeyin parıltısı, her doğrultuda ve yönde değişmeyip aynı kalıyorsa bu yüzeye *ideal dağıtıcı yüzey* ya da *ışık yayan yüzey* denmektedir. Yüzey Lambert yasasına uygun bir şekilde ışık yayıyorsa tam mat bir görüntüye sahiptir. İdeal dağıtıcı cisimlere opal camlar ve siyah cisimler örnek olarak verilebilir. Şekil 3.8’de Lambert yasasına uygun ışık yayan bir yüzey verilmiştir.



Şekil 3.8. Lambert yasasına uygun ışık yayan yüzey ve yansımaları (Aktaş, 2012, s.10).

$$L = (\rho/\pi) \cdot E \quad (3.10)$$

Denk. 3.10 π sabit olduğu için, ρ yansıtma faktörü ve E aydınlık düzeyi bilinirse L (cd/m^2) yüzeyin parıltısı yukarıda verilen formül ile hesaplanabilir (Aktaş, 2012).

3.5. Işık Üretiminin Temelleri

Ev, ofis, kütüphane gibi iç mekân aydınlatmaları ve sokak, cadde, yol vb. dış mekân aydınlatmaları için eski zamanlardan beri çok değişik yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemlerde ilk başlarda akkor telli lambalar daha sonraları ise gelişen teknoloji ile farklı yollarla oluşturulan lamba çeşitleri üretilmiştir. Bu lambalar arasında yapısal farklılıklar vardır. Bundan dolayı lambaların çalışma şekilleri ve çalışma ortamlarında da farklılıklar vardır. Her bir lamba türü kendine özgü belirli avantajlara sahiptir. Bu avantajlar, ayarlana bilirlik kapasitesi, renk kalitesi, istenilen etki, maliyet ve kurulum gereksinimlerine bağlıdır (United States Environmental Protection Agency). Ortam aydınlatmasını sağlamak için kullanılan bu lambalar en temel olarak termik yolla, deşarj dayanan ve elektrolüminesans yollar olmak üzere üç grupta toplanır. Termik yolla üretilen lambalarda içinde bulunan flamanın üzerinden elektrik akımı geçirilerek akkor haline gelene kadar ısıtılmasıyla ışık elde edilir. Deşarj sonucu oluşan ışımalar görünen dalga boylarında veya morötesi ışımada gerçekleşir. Görünen dalga boylarında üretilen ışımada ışımının tamamı veya bir bölümü ışıktır, yani doğrudan ışık üretimi söz konusudur. Morötesi ışımada ise ışınlar flüoresan maddelerle ışığa yani görünen dalga boylarına dönüşürler. Deşarj lambalarında lamba içerisindeki gazın elektriksel deşarj yoluyla etkileşime geçip iyonize olmasıyla ışık elde edilir. Elektrolüminesans yolla üretim ise, yarı iletken tabanlı lambalar olup, elektriksel ışımada

kullanılarak elektrik enerjisini doğrudan ışık enerjisine dönüştürürler (Taylor ve Alma, 2000).

3.5.1. Termik yolla ışık üretimi

Termik ışık üretiminde genellikle sıvı maddelerin ve katı cisimlerin kızgın hale gelmesiyle ışık ortaya çıkar. Termik yolla ışık üretimi bu esas temel olarak çalışır ve bu ışığın spektrumu sürekli dir. Bu ışık üretim yolu ile ilgili en önemli yasalar Kirchoff, Stefan-Bolzmann, Wien ve Planck yasalarıdır.

3.5.2. Deşarja dayanan ışık üretimi

Deşarja dayanan ışık üretimi uyarılmış atom veya moleküllerinin temel duruma geçtikleri esnada daha öncesinden almış oldukları uyarılma enerjisini ışımaya enerjisi biçiminde geri vermesi olayı ile oluşmaktadır. Bu ışık üretiminde cismin sıcaklığının bir önemi yoktur. Bu yöntemde ışımaya tayfin herhangi bir bölgesinde meydana gelebilir ve dalga boyu açısından iki türlü ışımaya söz konusudur.

İlki ışımaya bir kısmı veya tümü görünür ışık kısmındaki dalga boylarındadır. Örneğin; yüksek basınçlı cıva buharında ışımaya bir kısmı görünür dalga boyunda oluşurken, alçak basınçlı sodyum buharında ise ışımaya tamamı görünür dalga boylarında oluşmaktadır. Yıldırım boşalmasının ışık yayması buna örnek olarak gösterilebilir.

İkincisi ise; ışımaya bir bölümü veyahut tamamı morötesidir. Mesela yüksek basınçlı cıva buharında ışımaya bir bölümü, alçak basınçlı cıva buharında ise ışımaya tümü morötesinde oluşmaktadır.

3.5.3. Elektrolüminesans ışık üretimi

Elektriksel ışımaya kullanarak elektrik enerjisinin direkt olarak ışık enerjisine dönüştürülmesi sistemine dayanır. 1960'larda ortaya atılmış olmasına rağmen geçmiş 1920'lere dayanmaktadır. Elektrolüminesans ışık üretimi p-n jonksiyonlu yarı iletken tabanlı bir üretim türüdür. Bu p-n jonksiyon yarı iletkenin bir tarafına elektron enjekte edilir. Bu elektron yüzeye yakın bir alanda sıkışır ve yarı iletkenin diğer tarafından

enjekte edilmiş delikle birleşerek ışık yayan bir fotonu oluşturur. LED (ışık yayan diyotlar) lambaları ve OLED (organik LED'ler) bu üretim türüne dayanmaktadır. LED'ler önceleri sinyal lambası olarak kullanılırken, son on yılda renk ve etkinlik faktörü açısından çok büyük bir gelişim göstermiştir (Özkaya ve Tüfekçi, 2011).

3.6. Lambalar

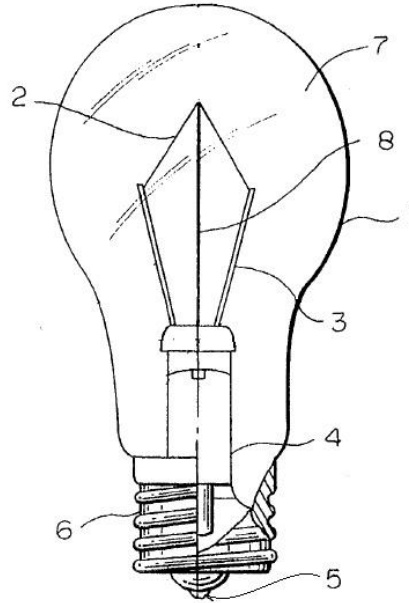
En önemli ve tükenmez aydınlatma kaynağımız Güneş, gün içerisinde sadece belirli saatler boyunca aydınlatma sağlamaktadır ve gün ışığının en önemli özelliği ise gün içerisinde göstermiş olduğu değişkenliğidir. Güneşten yeryüzüne direk gelen gün ışığı ya da onun atmosferde yansıyan ve dağılan ışınları ile yapılan aydınlatmaya ek olarak yapay ışık kaynakları kullanılır. Güneş ışığı olsun ya da olmasın yapay ışık kaynakları kullanarak her zaman ve her yerde istediğimiz gibi hayatımıza devam edebiliriz. Ateşin kullanılması ile başlayarak, insanlar yüzyıllar boyunca çeşitli yapay aydınlatma kaynaklarından yararlanmışlardır. Aydınlatma endüstrisinde herkesin yaygın olarak "ampul" olarak adlandırdığı, teknik açıdan bakıldığında ise "lamba" olarak adlandırılan milyonlarca elektriksel ışık kaynağı üretilir. Aydınlatma kaynaklarının her birinin avantajları ve dezavantajları vardır. Tüm lambaların ortak özelliği ise bir lamba başlığının olması ve çeşitli şekillerde cam balon veya tüp olmasıdır. Lambalar ışık yayma ilkelerine göre üç gruba ayrılırlar.

3.6.1. Akkor flamanlı (enkandesan) lambalar

19. yüzyılda geliştirilen akkor flamanlı lambalar, elektrik ışıklarının en uzun tarihine sahiptir ve termik yolla ışık üretirler. Akkor lamba üretim teknolojisinde bir flaman boyunca elektrik akımı geçirilerek ışık üretilir ve flamanlar yeteri kadar ısındığında kor haline gelerek görünür ışığı yayarlar. Lamba gücünün tümünün rezistans direncinden oluşur ve bundan dolayı omik yük olarak kabul edilirler (İmal ve Uyaroğlu, 2007). Verimsizlik ve ısı enerjisindeki yüksek kayıplarına rağmen bu lambalar sıcak renk tonları, kolay kullanımları ve ucuz olmalarından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır. Akkor telli lambalar; ışık yayan tel, bu telden elektrik akımının geçmesini sağlayan bir başlık ve cam balon içerisinde nitrojen (azot) ve argon gibi az miktar da diğer asal gazların birleşiminden oluşur. Cam balon içerisine konulan çok yüksek sıcaklıklara çıkabilen maden telini bulmak bir problem oluşturabilir. Telin çevresinde hava

bulunması, havanın içindeki oksijenin tele etki etmesine ve çok çabuk tahrip olmasına neden olur. Telin tahrip olmasını önlemek için tel, içerisi asal gaz ile doldurulmuş veya havası boşaltılmış cam balonun içerisine konur. İlk akkor flamanlı lamba H. Goebel tarafından 1954'te bulunmuştur. Thomas Edison tarafından 1879'da Goebel'in kullandığı flaman geliştirilerek, tekrar icat edilmiştir. Goebel ve Edison maden teli olarak yüksek ergime sıcaklığına sahip olan kömürü tercih etmiş ve flaman olarak kömürleştirilmiş bambu liflerini kullanmışlardır. Daha sonrasında Edison kömürleştirilmiş kâğıt elyafı flaman olarak kullanmıştır. Edison'un icat ettiği ilk kömür flamanlı lambaların ömrü sadece 40 saattir. Şu an yaygın olarak kullanılan akkor telli lambaların ortalama ömürleri ise 750-2000 saat arasındadır (Taylor ve Alma, 2000; Malman, 2001).

Şekil 3.9'da 1. cam balon, 2. flaman, 3. iletken telleri, 4. ucu kapalı cam muhafaza, 5. elektrik temas noktası, 6. vida başlığı, 7. asal gazlar, 8. destek tellerini ifade etmek üzere akkor flamanlı lambanın iç yapısı verilmiştir (Matsuda ve Yaguch, 1995).



Şekil 3.9. Akkor flamanlı lambanın iç yapısı (Matsuda ve Yaguch, 1995).

3.6.1.1. Tungsten halojen lambalar

Tungsten cevherinin keşfinden sonra Tungsten tozunun çeşitli işlemlerden geçirilerek elde edilmesiyle oluşan Tungsten telli lambalardır. Bu lambalar ilk olarak 1905'te ortaya çıkmıştır. Tungstenin ergime sıcaklığı kömürün ergime sıcaklığından daha düşük olmasına rağmen toz parçacıkları haline gelme ya da buharlaşma sıcaklığı

kömürünkenden daha yüksektir. Akkor flamanlı lambaların cam balonlarının içerisindeki normal dolgu gazına genellikle iyot, klor ve bromin gibi halojen gazlarının eklenmesiyle lamba içerisinde halojen döngüsü oluşturulur. Böylece tungsten flamanlı halojen lambalar elde edilir. Akkor flamanlı lambalarda yüksek sıcaklığa çıkarılan flamanda toz parçacıklarının kopması ve buharlaşma olayları meydana gelir. Buharlaşan flaman balonun iç kısmında birikir ve zamanla lambadan çıkan ışık akısının azalmasına neden olur. Halojen döngüde ise flamandan buharlaşan tungsten parçacıkları halojen gaz ile birleşir ve lambanın iç kısmında birikmeden tekrar flaman üzerinde toplanır. Böylece lamba ışık akısını uzun süre korumuş olur. Tungsten halojen lambalar normal enkandesan lambalara göre ortalama 2000 saat olan daha uzun anma ömürlerine ve daha büyük etkinlik faktörlerine sahiptirler (Özkaya, 2004; Taylor ve Alma, 2000).

Akkor flamanlı lambaların avantajları;

- Renksel geriverimi oldukça iyidir
- Maliyetleri düşüktür
- Işık spektrumları düzgün ve süreklidir
- Bölgesel aydınlatma için uygundur
- Kullanım alanları çeşitlidir
- Dimerlenebilirler (Gerilimin değiştirilerek ışık akısının ayarlanabilmesi)
- Anında ışık verirler ve bağlantıları kolaydır
- Sık yakılıp söndürülmeye uygundur.

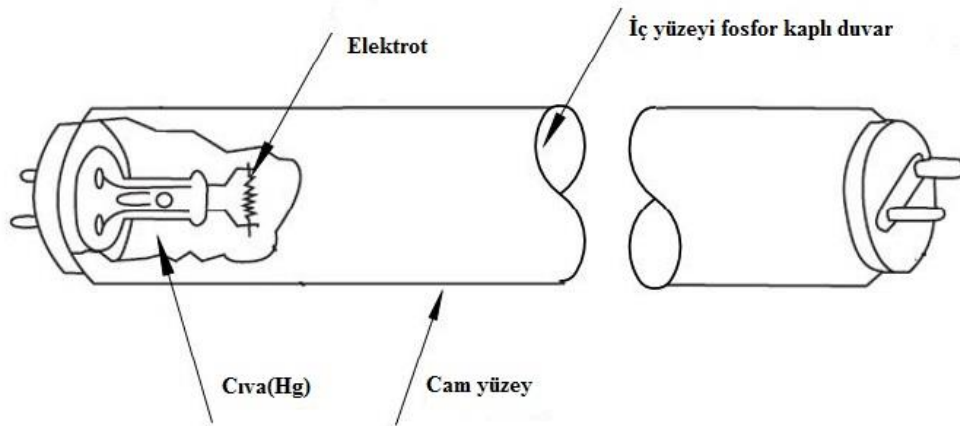
Akkor flamanlı lambaların dezavantajları;

- Ömürleri diğer lamba türlerine göre daha kısadır (1000 saat)
- Işıksal verimleri düşüktür
- Şebeke gerilimindeki dalgalanmalardan çok etkilenirler
- Çalıştıklarında ortama fazla miktarda ısı verirler (Erdem, 2007).

3.6.2. Flüoresan lambalar

Flüoresan lambalar, başlangıç için az bir miktar soy gaz (argon) ve alçak basınçta cıva buharı içeren bir gaz deşarjlı ışık kaynağıdır. Flüoresan lambalar, lambanın iki ucuna yerleştirilen elektrotların elektrik akımı ile yardımıyla lambanın içinde bulunan cıva

gazını iyonize etmesi ve iki elektrot arasında bir deşarj oluşturma prensibine göre çalışmaktadır (Şekil 3.10). İyonize olan cıva atomları kendi enerji seviyelerine geri dönerken ultraviyole ışın yayarlar. Yayılan ultraviyole ışınlarının, tayfın görülebilir dalga boyunda ışığa yapabilmeleri için flüoresan lambaların iç yüzeyleri fosfor kaplanır. Işınlar fosfor kaplı iç yüzeye çarparak flüoresanları absorbe ederek görünür ışık elde ederler. Flüoresan lambaların yuvarlak, düz ve kompakt şekilleri vardır ve lamba tüplerinin çap terimi ile tanımlanır. Flüoresan lamba içinde bulunan cıva gazının ilk anda uyarılmasında elektronlar yaklaşık 300 V'luk bir ateşleme gerilimine ihtiyaçları vardır. Bundan dolayı starter dediğimiz harici ateşleyici ve balast kullanılır (Öztürk, 2011). Starter içinde iki adet elektrodu olan argon veya neon gazları ile doldurulmuş silindir şeklinde ki cam balondur. Şebeke gerilimi elektrot uçlarına uygulandığında elektrotların ısınarak birbirine değmesi sonucunda elektrik akımını geçirirler ve starterin kısa devre olması sonucunda flüoresanın uçlarına yerleştirilmiş elektrotlar ısınır ve böylece lamba dışarıya ışık verir. Balast ise sargılarından dolayı devreye endüktif bir etki yapar. Kısaca balast gerilimi yükseltir, starter ise ateşleme yapmayı sağlar. Balastlar manyetik ve elektronik olmak üzere iki çeşittir. Flüoresanların bazı modellerinde yani elektronik balastı olanlarda, elektronik balast ilk ateşleme görevini de yapabildiği için startere ihtiyaç yoktur (Gan and Grabosky, 2000).



Şekil 3.10. Flüoresan lambanın yapısı (Taylor ve Alma, 2000, s.32).

Flüoresan lambaların avantajları;

- Diğer aydınlatma elemanlarına kıyasla daha ucuzdur
- İşletme giderleri düşüktür yani tasarrufludur
- Flüoresan lambaların ömürleri uzun ışık verimleri fazladır

- Yüksek aydınlık elde etmek için uygundur
- Fazla ısınma olmaz
- Kamaşmaya neden olmaz
- Çeşitli renk seçeneklerine sahiptir.

Flüoresan lambaların dezavantajları;

- Yardımcı elemanlara ihtiyaç duyarlar
- İlk yatırım maliyetleri fazladır
- Stroskobik etkilere neden olabilir
- İyi bakım yapılmadığı zamanlarda gürültü kirliliğine sebep olabilir
- Sık sık yakılıp söndürülmeye uygun değildir, bu lambanın ömrünü kısaltır
- Manyetik balast kullanımı var ise ilk açıldığında anında ışık vermez (Ertem, 2016).

3.6.3. Deşarj lambaları

Deşarj lambalarının tarihi ilk olarak 1857 yılında Alman fizikçi Heinrich Geissler tarafından test edilen ve “Geissler Tüpü” olarak adlandırılan deşarj tüpü uygulamasına dayanır. Tüpün içerisinde bulunan elektrotlara gerilim uygulanması ile yalıtkan yapı iyonize olmaya başlar. Serbest elektronların iyonize olması yeterli bir büyüklüğe ulaştığı zaman korona ışıması oluşur. Deşarj tipi lambalar bu çalışma prensibine göre ışık üretirler (İmal ve Bektaş, 2014). Deşarj lambalarının içinden geçen akımı sınırlamaya ihtiyaç duyulur. Bunun için balast kullanılır. Ateşleme yapabilmek içinse bir starter veya ateşleyiciye ihtiyaç vardır. Deşarj lambaları, tüp içindeki gazın basıncına göre de alçak basınçlı ve yüksek basınçlı lambalar olarak birbirlerinden ayrılırlar. Ana gaz buhar basınç değeri $0,1 \text{ N/m}^2$ ile 1 N/m^2 arasında olan gazlara alçak basınçlı, 10 N/m^2 ve daha büyük bir değere sahip olana ise yüksek basınçlı lamba denir (Özkaya, 2004).

Yüksek yoğunluklu deşarj lambaları, endüstriyel ışık sistemlerinin amacına uygun olan yüksek ışık verimlilikleri, daha uzun kullanım ömürleri ve iyi renk oluşturmaları gibi özelliklere sahiptir. Genellikle dış aydınlatmada kullanılan deşarj tipi lambalar, özel

durumlarda endüstriyel işletmeler ve reklamcılık gibi iç aydınlatma tesislerinde de tercih edilebilirler (Simonetti ve ark., 2002).

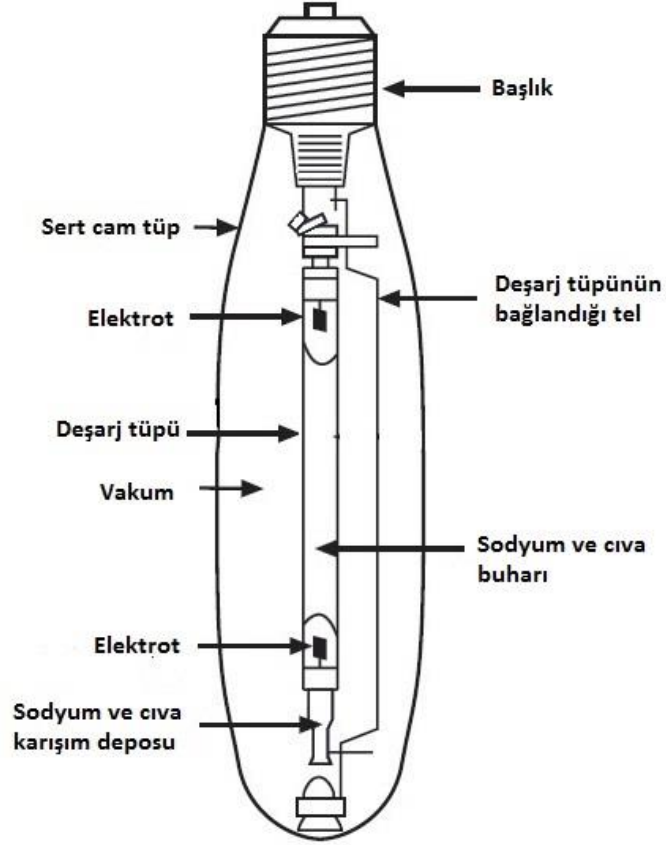
3.6.3.1. Sodyum buharlı deşarj lambaları

Sodyum buharlı deşarj lambaları alçak ve yüksek basınçlı olarak iki kısma ayrılabilen kızgın elektrotlu deşarj lambalarıdır. Bu lambalarda ışık, cıva ve sodyum buharlarının birleşimi içerisinde bir elektriksel deşarjın oluşması sonucunda üretilir. Bu karışımın spektral yayılımında sodyum buharının ışınımı daha baskın gelmektedir (Taylor and Alma, 2000). Lamba anma ömrü uzundur ve lamba gücüne bağlı olarak oldukça farklı değerlere sahip olabilmektedir. Bu lambalarda ateşleyici (ignitör) ve balast kullanılmaktadır.

Alçak basınçlı sodyum buharlı deşarj lambaların havası boşaltılan iç yüzeyi induim oksitle kaplanmış bir dış tüpün içine yerleştirilmiş U şeklinde bükülmüş olan bir deşarj tüpünden oluşmaktadır. Isı kaybının azaltılmasını sağlayan vakum ve kızıl ötesi ışınları yansıtan induim oksit, lamba verimlerinin yüksek olmasına etki eder. Deşarj tüpünün içinde oda sıcaklığında katı halde bulunan sodyum, tüpün sıcaklığı 250-300 °C'ye çıktığında buharlaşır. Deşarj ilk önce az miktarda argon veya neon gazlarından oluşan bir yardımcı gaz içinde gerçekleşir. Alternatif akım şebekelerinde kullanıldıkları için tüpün her iki ucunda aynı cins kızgın elektrot (baryum oksit ile kaplanmış tungsten) bulunmaktadır. Sodyum buharlı lambalara gerilim uygulandığı zaman tüp içinde bulunan gazda küçük ışıltılı boşalmalar gerçekleşerek ön deşarj başlar. Sıcaklığın giderek artmasıyla sodyum buharlaşacak ısıya ulaşır. Buharlaşan sodyumda ana deşarj gerçekleşir. İlk olarak asal gazda kırmızı bir ışımaya başlar, birkaç dakika içerisinde ışımaya portakalimsi bir kırmızıya dönüşür ve ana deşarj başladıktan sonra ışık rengi giderek altın sarısına dönüşür.

1960'larda geliştirilen yüksek basınçlı sodyum buharlı (YBSBL) lambalar hem fiziksel olarak hem de tüp basıncının çok daha yüksek olması sebebiyle alçak basınçlı sodyum buharlı lambalara (ABSBL) göre çeşitli farklılıklar göstermektedir. Yüksek basınçlı sodyum lambalar sodyumun buharlaşması ve ateşlemenin gerçekleşmesi için sodyum cıva ve xenon gazlarından oluşur. Lambanın içinde kullanılan xenon bir asal gazdır ve deşarj arkından, deşarj tüpü duvarına doğru ısı iletimini azaltarak ısının kontrolünü sağlar. Ark tüpü yüksek sıcaklıklara dayanabilmesi için sinterlenmiş alüminyum oksitten imal edilmiştir. Lambaların ışınması oldukça geniş bir bölümde gerçekleştiği

için renk ayrımı açısından alçak basınçlı olanlara göre üstünlükleri vardır. Lambanın kararlı çalışma basıncına ulaşması ve ışık yayması için birkaç dakikadan oluşan yol alma süresine ihtiyaç vardır. Şekil 3.11’de yüksek basınçlı sodyum buharlı bir lambanın iç yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambanın yapısı (Taylor ve Alma, 2000, s.30).

Sodyum buharlı lambaların avantajları

- Görme keskinliği açısından iyidir ve sisli havalarda iyi görüş sağlarlar
- Etkinlik faktörleri büyüktür
- Lamba ömürleri uzundur
- İşletme maliyetleri düşüktür.

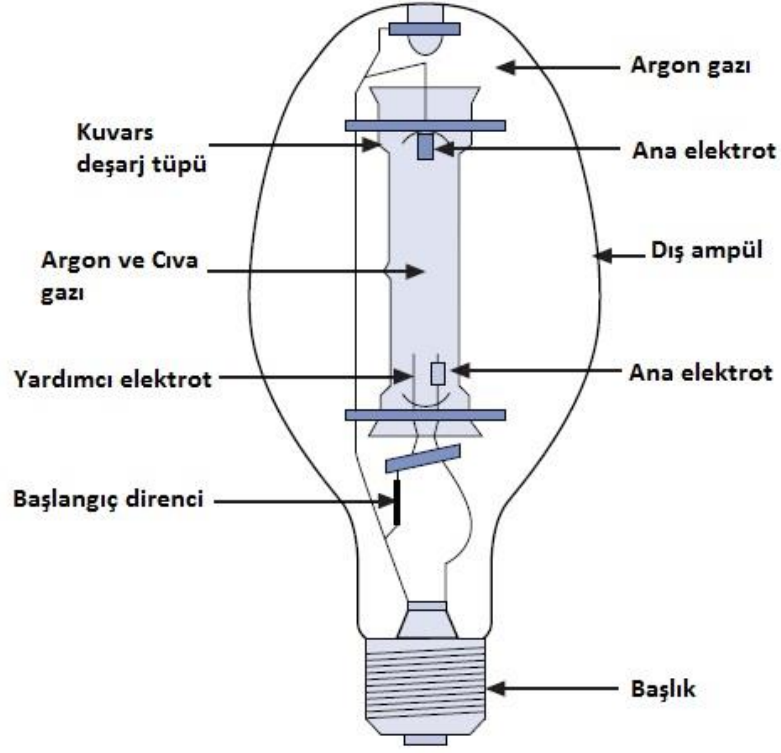
Sodyum buharlı lambaların dezavantajları

- Işımaları monokromatik olduğundan renk ayrımının yapılması imkansızdır
- İlk yatırım maliyeti yüksektir
- Oldukça uzun ve tek uçlu olmalarından dolayı sarsıntıdan çabuk etkilenirler

- Işık rengi turuncumsu sarıdır.
- Yardımcı araçlara ihtiyaç duyarlar (Erdem, 2007).

3.6.3.2. Cıva buharlı deşarj lambaları

Cıva buharlı lambalarda ışık üretimi, gaz halindeki cıva buharı sayesinde oluşan elektriksel deşarj yoluyla yapılır. İlk deşarj lambası olan cıva buharlı lambalar Şekil 3.12’de gösterildiği gibi genellikle cıva, argon gazı ile birlikte şeffaf veya flüoresan madde ile kaplanmış dış balon içinde kuvars tüpü ve başlıktan oluşmaktadır. Kuvars tüpü içerisinde yardımcı elektrot, ana elektrotlar, cıva gazı ve ateşleme gazı olarak doldurulmuş argon gazı bulunmaktadır. Yardımcı elektrot ateşlemeyi başlatırken ana elektrotlar deşarjın devamlılığını sağlamaya yardımcı olur. Cıva buharlı lambaların elektrotları kolayca elektron çıkmasına yardımcı olacak tungsten sargıdan yapılmıştır. Elektrotlar ark yoluyla ulaşan enerji sayesinde uygun elektron yayma sıcaklığına kadar ısıtılır. Elektrotların arasında kalan gaz iyonize olmaya başlar, kuvars tüpünde bulunan gaz direnci düşerek deşarj başlamış olur. Ark olayı deşarj tüpü olarak adlandırılan bir iç lamba da oluşur (Gordon, 2003). Cıva buharlı lambaların ortalama ömürleri 6000-9000 saat aralığındadır. Cıva buharının rezonans çizgisi 253,7 nm’lik dalga boyunda ve ışık tayfında mor ötesi ışımaya bölgesindedir. Görünür bölgede bulunmadığı için tüpün iç duvarına sürülen flüoresan maddesi ile görünür bölgeye dönüştürülür. Işık tayflarında kırmızı ışığı üretmezler. Cıva buharlı lambalarda sarı renkte (579 nm) çok kuvvetli, menekşe (404,7 nm), mavi (453,8 nm), yeşil renkte (546,1 nm) ise daha az kuvvette çizgiler mevcuttur.



Şekil 3.12. Cıva buharlı deşarj lambaları.

Cıva buharlı lambaların avantajları;

- Sarsıntıya ve darbelere karşı dayanıklıdır
- Etkinlik faktörleri yüksektir
- Çalışma sisteminde ateşleyiciye ihtiyaçları yoktur
- Her konumda yanma özellikleri vardır
- Lamba ömrü uzundur
- Kısa süreli gerilim yükselmesi ve ısı değişimlerine karşı dirençlidir
- Vermiş olduğu ışığa kıyasla lamba boyutu büyük değildir

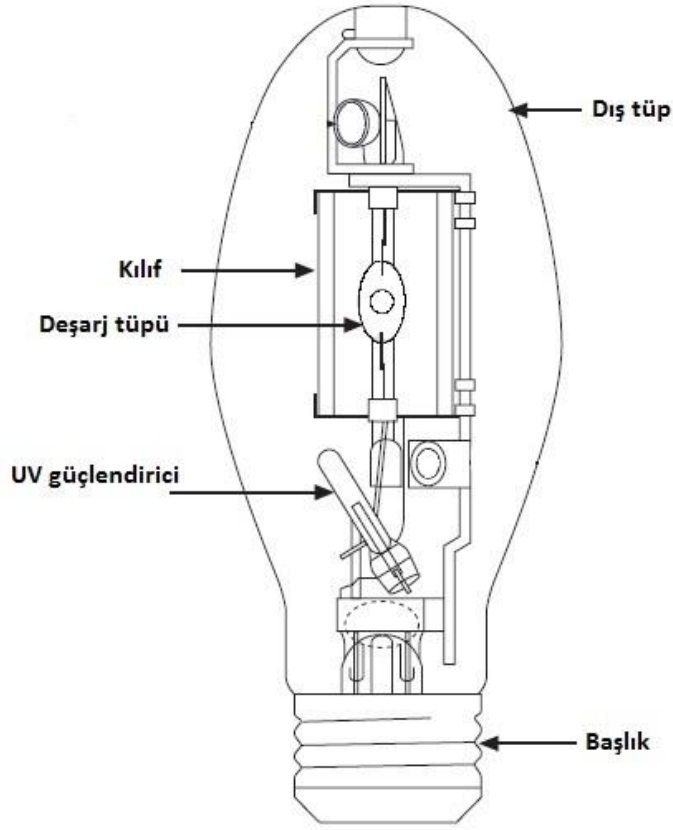
Cıva buharlı lambaların dezavantajları;

- Çalışma sisteminde yardımcı araçlara gereksinim duyarlar
- İlk kuruluş masrafları yüksektir
- İlk açıldığında tam olarak ışık rengini vermezler, bunun için belli bir sürenin geçmesi gerekir
- Ateşlemenin tekrar yapılabilmesi için soğuması gerekir.

- Kırmızıya dönük ışık renklerini pek iyi göstermezler (Kılıçaslan, 2011).

3.6.3.3. Metal halide lambalar

Metal halide lambalar cıva buharlı lambalara benzer özellikte olup, deşarj tüpünün içerisine cıvaya ek olarak indiyum, sodyum, talyum ve lityum gibi metal halojen katkılarının konulması farklılık oluşturur. Eklenen halojen gazları deşarj tüpünde kendi spektrumunu yayarlar. Bu katkı maddeleri cıva buharının spektrumunda bulunmayan bölgelerde de ışıma sağlayarak watt başına daha görünür bir ışık üretimi sağlarlar. Renk sıcaklıkları 4000-6000 °K arasında değişmektedir. Deşarj tüpleri saf kuartz cam ve polikristalize alümina (PCA) seramik maddelerden yapılmaktadır. Anlık enerji kesintilerinde tekrar ateşlemenin yapılabilmesi için 10 ile 20 dakika arasında bir sürenin geçmesi ve lamba basıncının düşerek lambanın soğuması gerekir. Lambaların ortalama ömürleri ise 15.000 ile 20.000 saat arasında değişmektedir. Metal halide lambaların çalışma gerilimleri lamba gücüne bağlıdır. Akımı sınırlamak için büyük çoğunlukla endüktif ya da kapasitif balast kullanılır (United States Environmental Protection Agency, 1997). Metal halide lambalar; iç mekân aydınlatmalarında mağaza, vitrin müze gibi yerlerde dekoratif amaçlı olarak, bina dış yüzeyi ve tarihi binaların dış yüzeylerinin aydınlatılması, spor sahalarının aydınlatılması ve yüksekliği çok olan ve üstü kısmen kapalı olan mekanların aydınlatılmasında kullanılmaktadır (Helms ve Belcher, 1991). Şekil 3.13'te metal halide lambaların iç yapısına bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Metal halide lambalarının yapısı.

Metal halide lambaların avantajları;

- Lambalar içindeki en beyaz ışığı verir
- Uzun ömürlüdür
- Etkinlik faktörü yüksektir
- Renk geriverim özelliği yüksektir.

Metal halide lambaların dezavantajları;

- Dimmerlenmeye uygun özellikte değildir
- Şebeke gerilimindeki dalgalanmalara karşı hassastır
- İlk kuruluş masrafı yüksektir
- Sık açıp kapatmalar lamba ömrünü olumsuz olarak etkiler
- Lambanın ilk yanma süresi ve tekrar ateşlenmesi için en az 5 dakika süre gereklidir. Lambalar içinde ilk yanma süresi en uzun olandır (Gündüz, 2012).

3.6.4. Deşarj lambalarının çalıştırılması için gerekli araçlar

Akkor telli (enkandesan) lambaların aksine deşarj lambaları direkt olarak şebekeye bağlanamazlar. Akım sınırlayıcı (balast) ve ateşleyici (ignitör) gibi yardımcı elemanlara ihtiyaç duyarlar.

3.6.4.1. Akım sınırlayıcı araçlar (Balast)

Balast olarak adlandırılan akım sınırlayıcılar, deşarj tipi lambaların yeterli ışık akısını verdiği akım değerinde kalmasını sağlayan, lamba ve elektrik şebekesi arasında bağlantıyı sağlayan ve lambanın çalışması için gerek duyulan gerilimi ayarlayan endüktif veya kapasitif bir sistem olarak tanımlanmaktadır. Kapasitif balastlarda endüktans bobinine seri bağlı bir kondansatör vardır. Ayrıca lamba tarafından yayılan elektromanyetik bozulmaların zayıflatılması ve lamba ateşlendikten sonra yardımcı elemanların tekrar devreye girmesini önlemek gibi görevleri vardır. Genel olarak elektronik ve elektromanyetik balast olmak üzere iki kategorisi vardır.

Elektromanyetik balastlar, bakır sargılarla sarılmış lamine edilmiş çelik plakaların manyetik çekirdeğinden oluşur. Manyetik balastlar kullanılan en ucuz, en basit, düşük verimli balastlardır. Ateşlemenin sağlanabilmesi için startere ihtiyaç vardır. Manyetik balastlarda meydana gelen kayıplar, bu balastların çalışmasına etki etmektedir. Manyetik balastlarda ortaya çıkan sargı direnci (bakır) ve demir kayıpları balastın verimliliğini düşürmektedir. Manyetik balastlarda oluşan demir ve bakır kayıpları ısı üretmeye sebep olmaktadır. Bu ısı manyetik balastın ömrüne olumsuz etki yapmaktadır. Balast oluşturulurken verimliliği elde edebilmek için çok miktarda demir ve bakır kullanılması balastın büyük ve ağır olmasına sebep olmaktadır (Sumper ve Baggini, 2012).

Elektronik balastların yapılarında yarı iletken tabanlı elektronik devreler bulunmaktadır. Elektronik devreler gerilimin genliğini, şeklini ve frekansını değiştirmektedir. Lambaların çok daha yüksek frekanslarda (lamba verimliliğinin %10-15 oranında artabileceği, 20kHz) çalıştırılabilmelerine olanak sağlar. Elektronik balastla çalışan lambaların diğer faydaları ise, daha uzun lamba ömrü (%30'a kadar), ortalama ışık akısında artış, daha küçük boyut ve daha düşük bir ağırlık, daha az ses ve lamba titremesi, daha iyi çalışmaya başlama ve lambanın çalışmasının kontrolü gibi özelliklerdir. Yapısal özellikleri bakımından daha kompleks olmalarına rağmen birçok

avantaja sahip olmalarından dolayı manyetik balastlara göre daha çok tercih edilmektedirler. Elektronik balastlarda, sistem lambanın ilk çalışma anında gerek duyulan ateşleme gerilimini de üstlendiği için manyetik balastlarda olduğu gibi bir startere ihtiyaç yoktur.

Elektronik ve manyetik balastlar karşılaştırıldığında birbirlerine göre avantajlı ve dezavantajlı olduğu durumlar vardır. Manyetik balastlar içerisinde kompleks yapılar olmadığından ötürü arıza oranının düşük olması, harmonikler açısından problem olmaması, kötü koşullarında bile çalışabilmesi, maliyetinin düşük olması açısından elektronik balastlara göre avantajlıdır. Elektronik balastlar da ise lamba ömürlerinin uzun olması, lümen kararlılığının daha iyi olması, güç faktörünün yüksek, kayıpların düşük olması, enerjide tasarruf sağlaması, yapısında bobin bulundurmadığı için kompanzasyona gerek duyulmaması, bilgisayar ile uyumlu olması gibi özellikler manyetik balastlara göre üstünlük sağlamaktadır (MEGEP, 2007; Uyanık ve Sarıbaş, 2003).

İyi bir balastta bulunması gereken özellikler;

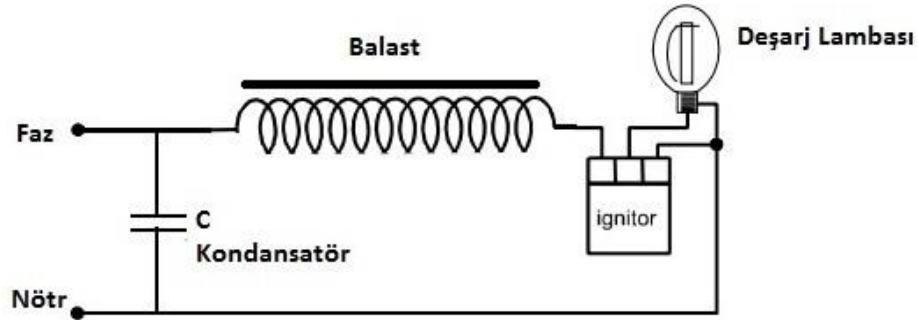
- Sessiz çalışması,
- Yüksek güç kayıplarının olmaması,
- Lambanın tam verim ile çalışmasını sağlaması,
- Lambayı kolay ateşleyebilmesi,
- Ömrünün uzun olması,
- Akımın dalga şeklinde herhangi bir bozukluğa yol açmaması (Eser, 2013).

3.6.4.2. Ateşleme için kullanılan araçlar

Starter genellikle ön ısıtması olan flüoresan lambalarda endüktif balastla birlikte kullanılan ateşleme görevini yapan otomatik anahtar sistemidir. Starter bir deşarj tüpü olup içinde iki elektrot bulunur ve içerisi neon ya da argon gazı ile doldurulmuş cam balondur. Starterin elektrotları sıcaklık altında uzama katsayıları farklı olan demir ve bakır gibi iki madensel şeritten oluşmaktadır. Starterin uçlarına elektronik alıcılardaki parazitleri önlemek ve lambanın ömrünü uzatmak için paralel olacak şekilde bir kondanstör bağlanır. Sisteme gerilim uygulandığı anda starter açık konumdadır ve gerilim ile birlikte starter elektrotları arasında bir ark meydana gelir. Bu esnada oluşan ark direnci oldukça büyüktür ve elektrotları ısıtarak birbirine değmesini sağlar. Birbirine

değer elektrotlar kısa devre olur ve flüoresan lambadan akım geçer. Birkaç saniye sonra elektrotların soğumasıyla elektrotlar ilk oldukları duruma dönerek devre açık hale gelir. Lambayı ateşlemeye yetecek kadar balastta bir gerilim endüklenmiş olur ve lamba yanar (Özkaya, 2004).

İgnitör olarak adlandırılan ateşleyiciler, deşarj lambalarında ışığa deşarjını başlatmak ve sürdürmek için uygun voltaj ve enerjiyi sağlayan elektronik cihazlardır. İlk ateşlemenin yapıldığı esnada ilk iyonizasyonu oluşturmak için, şebeke geriliminin üzerindeki bir gerilime ihtiyaç vardır. İgnitör ihtiyaç duyulan bu ilk yüksek gerilimi devreye sağlayarak lamba iç direncinin düşürülmesine olanak sağlar. Lamba iç direnci düşürülerek sürekli bir çalışma akımı elde edilir ve lamba içindeki kimyasallar buharlaşarak anma akım değerine ulaşır. Her bir lamba ailesi için ateşleyiciler farklı gerilim tepe değerlerine sahiptir (Kwok, ve ark., 2006; İmal ve Bektaş, 2014). Deşarj lambasının şebeke ile bağlantı şeması Şekil 3.14'te gösterilmiştir.

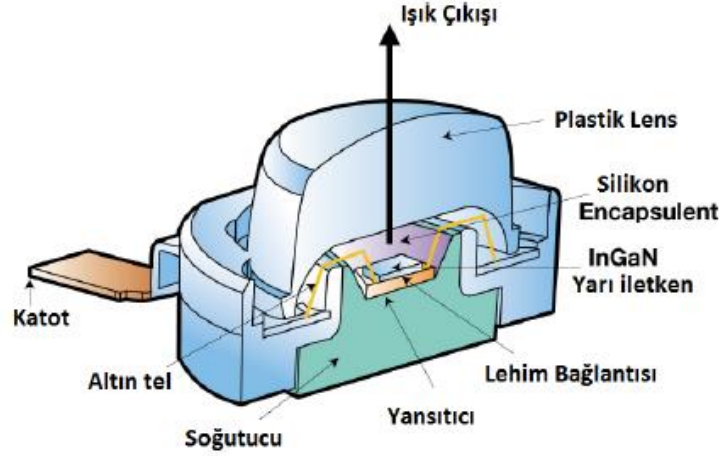


Şekil 3.14. Deşarj lambası bağlantı şeması (Macro Power Engineering).

3.6.5. LED

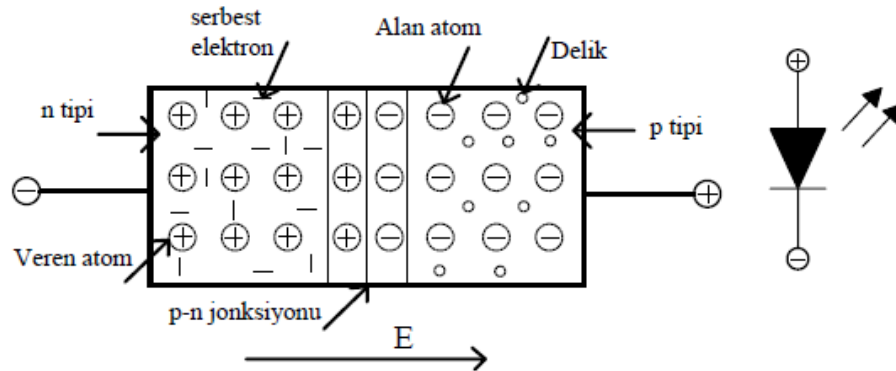
LED, İngilizcedeki Light Emitting Diode kelimelerinin baş harflerinin kısaltılmasıyla oluşturulan bir kelimedir. Işık yayan diyot anlamına gelen LED yarı iletken tabanlı bir aydınlatma elemanıdır. LED'in en önemli parçasını yarı iletken malzemeden oluşmuş ışık yayan LED çipi oluşturmaktadır. LED de kılıf içine yerleştirilmiş yansıtıcı eleman sayesinde ışığın belirli bir yöne doğru yayılmasını sağlar ve bu yüzden noktasal ışık kaynağı olarak tanımlanır. LED'ler belirli bir voltaj değerine geldikten sonra bünyesinde bulunan elektronların hareket etmesiyle ışık yayarlar. Bu da elektro ışınım ya da elektrolüminans olarak adlandırılır. LED'lerin yaymış oldukları ışık diğer aydınlatma elemanlarında olduğu gibi termik veya kimyasal işlemler sonucunda

oluşmaz (Erol ve Canpolat, 2011). Şekil 3.15'te LED'in fiziksel yapısına ait bir görsel verilmiştir.



Şekil 3.15. LED'in fiziksel yapısı (Gürbüz, 2012).

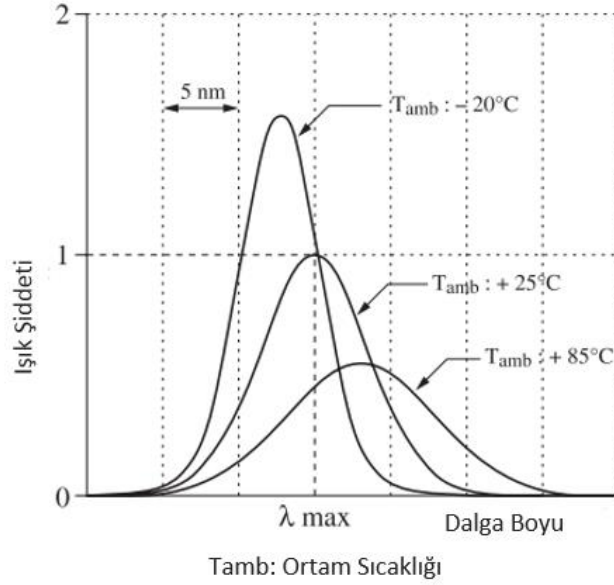
LED'ler farklı yapıda yarı iletken malzemelerin birleştirilmesiyle oluşmuştur. Yarı iletken içerisinde p ve n yarı iletken bölgeler oluşturulduğunda bu iki yarı iletken bölgenin arasında p-n jonksiyonu adı verilen bir bölge oluşur. LED'den doğru yönde bir akım uygulandığı zaman Şekil 3.16'da gösterildiği gibi serbest elektronlar p-n jonksiyonunu geçerek p bölgesine girerler. Serbest elektronların p tipi madde içerisindeki deliklerle birleşmesi sonucunda açığa çıkan enerji, çip içerisindeki kimyasalların etkisiyle foton adı verilen ışık enerjisine dönüşmektedir (Türköz, 2009).



Şekil 3.16. Yarı iletken LED yapısı (Türköz, 2009).

LED'ler genel olarak tek renk ışık (monokromatik) yayarlar ve verimleri yaymış oldukları ışığın dalga boyu ile alakalıdır. İlk üretildiklerinde sadece kırmızı renkte ışık

verirken artık LED'ler ile görülebilir ışık spektrumundaki hemen hemen her dalga boyundaki renkleri elde edilebilmektedir. Renkleri jonksiyonun sıcaklığına bağlı olup, sıcaklık arttığında dalga boyları daha uzun dalga boylarının yönüne doğru değişmekte ve ışık akısı, etkinlik faktörü gibi değerleri düşmektedir. LED'in ortam sıcaklığına bağlı olarak ışık şiddeti ve dalga boyu değişimi Şekil 3.17'de verilmiştir.



Şekil 3.17. LED ışık şiddeti ve dalga boyunun ortam sıcaklığı ile değişimi (Gültekin, 2013).

Doğru akımla çalışan LED'ler sahip oldukları renklere göre 1,6 V ile 4 V arasında değişen bir eşik gerilime sahiptir. Yeşil, mavi beyaz LED'ler +2,5 V ile +4 V arasındaki bir gerilimle çalışırken kırmızı ve sarı LED'ler 1,9 V ile 2,6 V arasındaki bir gerilimde çalışırlar (Gültekin, 2013). Genellikle LED'ler seri bağlanarak bir LED sistemi şeklinde olabilirler. Seri bağlı olduklarında 10 V, 12 V, 24 V, 48 V gibi doğru akım veren elektronik güç kaynağı ile beslenirler. Son zamanlarda kullanım alanları oldukça geniştir. Otomobillerde bulunan konsol, radyo, navigasyon sistemleri butonlar ve göstergeler, cep telefonlarında gösterge, tuş aydınlatması ve flaş olarak kullanılmaktadır. Dış mekân görüntü cihazları ve büyük trafik bilgilendirme göstergeleri gibi büyük ölçekli göstergelerde kullanılmaktadır. Tasarım amaçlı estetik isteyen aydınlatmalar ve reklam panolarında renkli ışık tüplerine alternatif olarak kullanılmaktadır (İmert, 2008).

LED lambaların avantajları;

- Fiziksel darbelere ve şoka karşı dayanıklıdırlar
- Uzun ömürlüdürler (Ortalama 50.000 ile 100.000 saat arasında)
- Zararlı gazlar içermezler
- Etkinlik faktörleri oldukça yüksektir ve gelişen teknoloji ile etkinlik faktörü değerleri sürekli değişmektedir
- Boyutları küçük ve fiziksel olarak sağlamdır
- Lambanın sık sık açılıp kapatılması lamba ömrüne etki etmez
- Düşük ortam sıcaklıklarındaki çalışmaları çok iyidir
- Yandıkları zaman ortama ısı vermezler
- Boyutları küçüktür bu yüzden tasarımlarda kullanılabilirler
- Enerji tüketimi azdır, tasarruf sağlar
- Dimmerlenme yapılabilir
- İstenilen renkte ışık verebildikleri için ışık filtreleyicisine ihtiyaç duymazlar
- Birkaç milisaniyeler içerisinde maksimum ışığa ulaşırlar

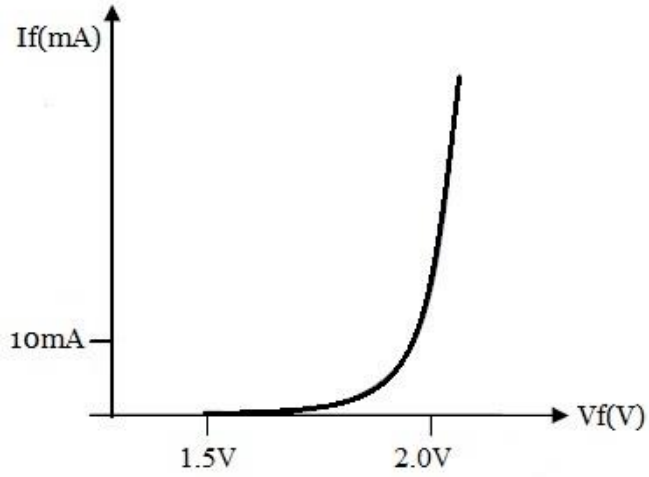
LED lambaların dezavantajları;

- Maliyetleri yüksektir
- Kamaşma riski vardır
- Renksel geriverimleri düşük olabilir
- Performansları sıcaklığa bağlıdır. Yüksek sıcaklıklar ömür ve performansın azalmasına neden olur
- Elektriksel kutuplar önemlidir, ters bağlamada LED zarar görüp çalışmamasına neden olabilir (Özgül, 2015).

3.6.5.1. LED'lerin karakteristik yapıları

Akım-gerilim karakteristiği

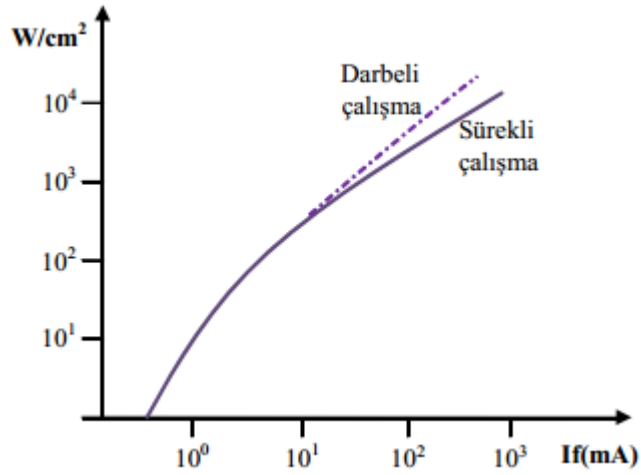
Farklı maddelerden yapılan yarı iletken elemanlarının akım-gerilim karakteristikleri çeşitlidir. LED'lerin iletme geçip ışık yaymaya başladığı değerler ortalama 10 mA ve 10 V'tur. İdeal bir LED'in akım-gerilim karakteristiği Şekil 3.18'de olduğu gibi diyot akım-gerilim eğrisi ile aynı özelliktedir.



Şekil 3.18. LED'in akım-gerilim karakteristiği (Akbulut ve Gül, 2009).

Akım-ışık şiddeti karakteristiği

LED'in ortama yaymış olduğu ışık şiddeti içinden geçen akım ile doğru orantılı olarak bir artış gösterir. Bu artış belirli bir değere kadar doğrusal olarak artar daha sonra Şekil 3.19'da ki gibi bükülür. Diyota verilen akım, doğrusallığın bozulduğu noktayı (eşik değerini) geçerse, diyot aşırı ısınarak bozulur (Akbulut ve Gül, 2009).

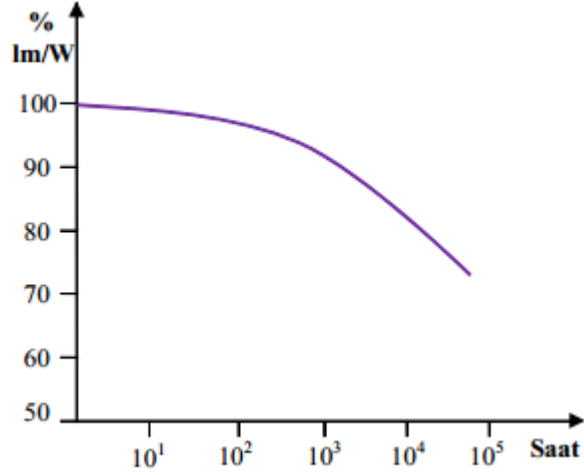


Şekil 3.19. LED'in akım-ışık şiddeti karakteristiği (Akbulut ve Gül, 2009).

Verim-zaman karakteristiği

LED verimi lm/W sembolü ile ifade edilmektedir. Zamanla orantılı olarak azalır. Verim normal verimin yarısına kadar düştüğü zaman diyot ömrünü tamamlamış demektir.

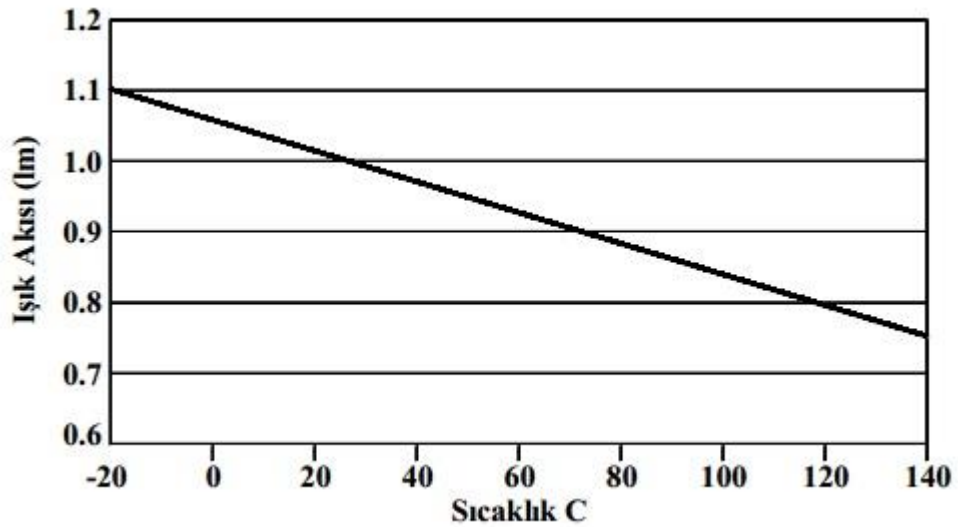
LED'in ortalama ömrü 100.000 saattir. Şekil 3.20'de normal şartlar altında ($I_f = 100 \text{ mA}$ ve $T_{\text{ortam}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$) verimin zamana göre değişim eğrisi gösterilmektedir (Gürbüz, 2012).



Şekil 3.20. LED'in verim-zaman karakteristiği (Gürbüz, 2012).

Sıcaklık-ışık akısı karakteristiği

LED'lerin içinden geçen akım sabittir. Fakat diyotların karakteristik özelliklerindeki farklılıklardan ötürü ortamın sıcaklığının artması etkinlik faktörlerini düşürür. Yapıldıkları malzeme türüne göre her derece için %0,3-%0,7 arasında değişiklik göstermektedir (Erol ve Canpolat, 2011). LED'in ışık akısının sıcaklığa bağlı olarak değişimi Şekil 3.21'de verilmiştir.



Şekil 3.21. LED'in sıcaklık-ışık akısı karakteristiği (Erol ve Canpolat, 2011).

3.7. Işığın Bitkiler Üzerindeki Etkisi

Işık bitkilerin büyümesi ve iyi bir gelişim sağlayabilmesi açısından en temel faktördür. Bitkinin ışığı kullanarak fotosentez yapması tüm canlılar için önemli bir parametredir. Bu bağlamda ışık her canlı üzerinde etkili olmaktadır. Bitkilerin üzerine düşen kümülatif ışık miktarı çoğu bitkinin kalitesini, verimini doğrudan etkilemektedir (Dayıoğlu ve Silleli, 2012).

En büyük ve en önemli ışık kaynağımız olan güneşin battığı ya da ışınlarının daha az geldiği zamanlarda yapay aydınlatma kavramı ortaya çıkmış ve bu doğrultuda teknolojik gelişmeler olmuştur. Çünkü günışığı hem gün içinde hem de yıl boyunca mevsimlere ve hava koşullarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bitki yetiştiriciliğinde yapay ışık kaynakları hem güneş ışığını desteklemek amacıyla hem de güneş ışığı olmayan yetiştirme dolapları ya da kabinlerinde kullanılmak amaçlıdır (Koç ve ark., 2009). Bu bağlamda yapay aydınlatma kaynaklarından faydalanarak ihtiyaç duyulan ışık miktarı bitkilere uygulanabilmektedir. Gün içerisinde bitkinin almış olduğu ışık miktarı, ışığın dalga boyu, renk sıcaklığı, geliş açısı, mesafesi gibi özelliklerin bitki fizyolojisine etkisi oldukça fazladır. Bitki yetiştiriciliğinde yaygın olarak flüoresan lambalar, akkor telli lambalar, yüksek basınçlı sodyum buharlı deşarj lambaları, metal halojen lambalar ve son yıllarda ise LED lambalar kullanılmaktadır (Çakırer ve ark., 2017).

Foton ya da kuantum adı verilen kütesiz parçacıklardan oluşan ışığın enerjileri dalga boylarına bağlı olarak değişmektedir. Işık spektrumu kızılötesi, görünür ışık ve ultraviyole olmak üzere çok geniş dalga boyu aralığını içermektedir (McCree, 1973). Aynı zamanda güneş ışığı dalga boyları açısından; *kısa dalga boylu ışınlar*, *orta dalga boylu ışınlar* ve *uzun dalga boylu ışınlar* olarak da üç gruba ayrılmaktadır. Bitkiler bu ışık spektrumundaki dalga boylarından sadece bir kısmını fotosentez yapmak için kullanır. Işık spektrumunda sadece orta dalga boyları (400 nm-700 nm) aralığı fotosentezde etkilidir. Orta dalga boylu ışınlar kendi arasında *mavi-menekşe*, *yeşil-sarı* ve *turuncu-kırmızı* olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Spektrumda yer alan mavi-menekşe ve turuncu-kırmızı ışınlar bitkilerin fotosentezde en çok kullandığı ışınlardır. Kırmızı-turuncu ışınlar, fizyolojik aktiviteleri en fazla olan ışınlardır. Bu ışınlar optimum bir seviyede olduğu zaman bitkilerin organik madde üretme oranı da en

yüksek seviyede gerçekleşir (Gökmen, 2007). Bu dalga boylarındaki ışığa PAR (Photosynthetically Active Radiation) yani fotosentetik aktif ışığa olarak adlandırılmaktadır ve birimi $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ şeklindedir. PAR bölgesindeki foton miktarları büyüme ışığı olarak nitelendirilmektedir.

Işığın biyolojik etkisi dalga boyuna ve içermiş olduğu enerji miktarına bağlıdır (McCree, 1973). Bitkinin almış olduğu ışık enerjisi, birtakım tepkimeler sonucunda tarımsal üretim açısından nihai olarak biyokütle ve meyveye dönüştürülmektedir. Fotosentez ışık dalga boyunun bir işlevi olan fotokimyasal bir süreçtir. Fotosentez ile alakalı başka bir konu ise belirli bir dalga boyundaki ışığın yanı sıra farklı dalga boyundaki ışığın eklenmesi fotosentez hızını arttırabilmektedir (Vatandaş ve ark., 2010).

Bitkiler besin zincirindeki en temel basamağı oluşturduğu için önemlidir. Bütün canlı yaşamı fotosentez yapan yeşil bitkilere bağlıdır. Klorofil taşıyan canlılarda ışık enerjisi kullanılarak organik bileşiklerin üretilmesi olan fotosentezde en önemli pigment bitkilerin yeşil pigmentleri olan klorofildir (Çetin, 2016). Fotosentez olayında rol alan başlıca organ ise yapraklardır (Taiz and Zeiger, 2008). Klorofil güneş ışığını kullanarak bitkinin büyüme ve gelişmesindeki en etkili role sahip olan karbonhidratları oluşturur (Karakurt ve Aslantaş, 2008). Bitkilerde sekiz farklı klorofil bulunmakla birlikte en önemlileri klorofil a ve klorofil b'dir. Işık bu renk pigmentlerinin oluşabilmesi için temel bir ihtiyaçtır. Klorofiller belirli dalga boylarındaki fotonları absorbe ederler (Demirtaş ve Kırnak, 2009).

Işığın bitki üzerinde etkili olduğu başka bir madde ise karotendir. Karoten maddesi bitkilere açık sarı-kırmızı arası renkleri veren pigmenttir. Karotenoidler absorbe ettikleri ışık enerjisini klorofile taşıyarak fotosentez olayına katkıda bulunmaktadır. Ayrıca klorofillerin ışık ve oksijen karşısında parçalanmasını önlerler (Karakurt ve Aslantaş, 2008).

4. METERYAL ve YÖNTEM

4.1. Materyal

Bu çalışma, uygulamada sıklıkla kullanılan ve kolaylıkla temin edilebilen termik, deşarj dayanan ve elektrolüminesans gibi farklı yollarla ışık üreten aydınlatma elemanlarının buğday (*Triticum aestivum* L.) ve arpa (*Hordeum vulgare* L.) üzerindeki potansiyel etkilerini incelemek amacıyla yapılmıştır. Bu bölümde çalışmada kullanılan aydınlatma sistemlerine ve bitki büyümesi için gerekli olan temel malzemelere yer verilmiştir. Kullanılan aydınlatma kaynaklarının ışık ile ilgili parametreleri ölçmek için spektrometre cihazı kullanılmıştır. Çalışmada ışık üretim yolları esas alınarak her ışık üretim yolundan en az 1 adet olmak üzere toplamda 5 farklı aydınlatma kaynağı kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan aydınlatma kaynakları;

- Akkor flamanlı (enkandesan) lamba,
- Sodyum buharlı deşarj lamba,
- Cıva buharlı deşarj lamba
- Metal halojenli deşarj lamba ve
- LED lamba şeklindedir.

Ayrıca deşarj lambalarında ilk ateşlemeyi başlatmak ve sürdürmek için uygun enerjiyi sağlayan ignitör ve elektrik şebekesi ile lamba arasındaki bağlantıyı sağlayan ve lambanın çalışması için gerek duyulan gerilimi sağlayan balast yardımcı kaynakları kullanılmıştır. Balast ve ignitörler çalıştıracakları deşarj tipi lambalar ile uyumlu olarak seçilmiştir. Çalışmada, Erzincan ilindeki tarımsal faaliyet yapılan arazilerden alınan hayvan gübresi ile karıştırılmış verimli topraklar, laboratuvar ortamında kolaylıkla yetişebilen buğday (*Triticum aestivum* L.) ve arpa (*Hordeum vulgare* L.) tohumları kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan lambaların bazı ışıksal parametreleri spektrometre cihazı ile ölçülmüştür (Şekil 4.1). Spektrometre cihazı ile ışık kaynaklarına ait, dalga boyu, ilişkili renk sıcaklığı (CCT, Correlated Color Temperature), renk geriverim indeksi (CRI, Color-Rending Index), aydınlık seviyesi (LUX), renk kalitesi ölççeği vb. büyüklüklere ait ölçümler yapılmaktadır.



Şekil 4.1. Spektrometre cihazı.

Çalışmada kullanılan bazı cihazlara ait bilgiler;

Spektrometre : UPRTek

Spektrofotometre : Perkin ElmerLambda 35 UV/VIS, Genesys 20

Soğutmalı santrifüj : H-2050 R

Hassas terazi : Ax1s

Otomatik pipetler : Socorex

Buzdolabı : Arçelik

4.2. Yöntem

Bu çalışma, Erzincan Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümünün laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, kullanılmak üzere aydınlatma sistemleri oluşturulmuş ve bu sistemler eşit yükseklikte olacak şekilde çalışma ortamlarına monte edilmiştir. Çalışmamızda kullanılacak ışık kaynaklarının özellikleri spektrometre cihazı ile ölçülmüştür.

4.2.1. Sodyum buharlı deşarj lambanın kullanıldığı aydınlatma sistemi

İlk aydınlatma sistemimiz sodyum buharlı deşarj lambası olup, bu sistemde (a) sodyum buharlı lamba, (b) devrede ilk ateşlemeyi gerçekleştiren ignitör ve (c) lambanın ihtiyaç

duyduğu gerilimi sağlamak için balast kullanılmıştır (Şekil 4.2). Kullanılan sodyum buharlı lamba 70 W gücünde, 2000 °K renk sıcaklığına sahip ve 6500 lm ışık akısındaki katalog değerlerine sahiptir. Sistemde kullanılan 70 W gücündeki ignitör ve balast yüksek basınçlı soydum buharlı lambanın çalışabilmesi için uygundur.



(a) Sodyum buharlı lamba

(b) İgnitör

(c) Balast

Şekil 4.2. Sodyum buharlı aydınlatma sisteminde kullanılan elemanlar.

Çalışmamızda ilk olarak sodyum buharlı deşarj lambanın monte edildiği bir sistem oluşturulmuştur. Sistemin devre dışı (lamba kapalı) ve devrede (lamba açık) olduğu durumları Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Sodyum buharlı deşarj lambaları ilk çalışma esnasında ateşlemenin gerçekleşebilmesi ve ihtiyaç duyulan gerilimin sağlanabilmesi için yardımcı elemanlara ihtiyaç duymaktadırlar. Bu yüzden sistemimizde balast ve ignitör yardımcı kaynakları kullanılmıştır. Sodyum buharlı lambanın sahip olduğu dalga boyu spektrometre cihazı ile ölçülmüş ve yapılan ölçümde 597 nm olarak tespit edilmiştir. Bu sistemin sahip olduğu dalga boyu bitkilerin fotosentez yapabildiği dalga boyu aralığındadır. Aynı şekilde spektrometre cihazı ile yapılan ölçümlerde ilişkili renk sıcaklık değeri (CCT) 2003 °K olarak ölçülmüşken renk geriverim indeksi (CRI) 25 ve aydınlık düzeyi 1548 lx olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.3. Sodyum buharlı lambanın monte edildiği aydınlatma sistemi.

4.2.2. Akkor flamanlı lambanın kullanıldığı aydınlatma sistemi

İkinci olarak sistemimizde piyasada çok kolaylıkla bulunabilecek olan akkor flamanlı (enkandesan) lamba kullanılmıştır (Şekil 4.4). Akkor flamanlı lambalar en eski üretim tarihine sahiptir ve gelişen teknolojilere bağlı olarak yeni şekillerini almıştır. Kullandığımız diğer aydınlatma sistemlerine göre daha ucuzdur. Kullanılan akkor flamanlı lamba 42 W gücünde, 2700 °K renk sıcaklığına sahip ve 600 lm ışık akısındaki katalog değerlerine sahiptir.



Şekil 4.4. Termik yolla ışık üreten düzenekte kullanılan aydınlatma elemanı (akkor flamanlı lamba).

Termik yolla üretilen akkor flamanlı lambanın monte edildiği aydınlatma sisteminin devre dışı (lamba kapalı) ve devrede (lamba açık) olduğu durumları gösterilmiştir (Şekil 4.5). Bu aydınlatma sistemi basit bir yapıya sahiptir ve çalışması için yardımcı elemanlara ihtiyaç olmadığı için sistemde sadece akkor flamanlı lamba bulunmaktadır. Akkor flamanlı lambanın sahip olduğu dalga boyu spektrometre cihazı ile 537 nm olarak ölçülmüştür. Bu dalga boyu, bitkilerin fotosentez yapabilmesi için gerekli olan dalga boyu aralığındaki sınır değerdir. Aynı şekilde spektrometre cihazı ile yapılan ölçümlerde ilişkili renk sıcaklık değeri (CCT) 2759 °K renk geriverim indeksi (CRI) 99 olarak ve aydınlık düzeyi ise 279 lx olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.5. Akkor flamanlı lambanın monte edildiği aydınlatma sistemi.

4.2.3. Metal halojenli aydınlatma sistemi

Üçüncü aydınlatma sistemimiz metal halojenli deşarj lambası olup, bu sistemde (a) metal halojen lamba, (b) ignitör ve (c) balast kullanılmıştır (Şekil 4.6). Metal halojenli deşarj lamba 400 W değeri ile çalışmada kullanılan lambalar arasında en yüksek güce sahiptir. Lambanın katalog değerleri: renk sıcaklığı 6000 °K ve ışık akısı 28400 lm'dir. Sistemde lamba gücü ile eşit olan 400 W ignitör ve balast metal halojen lambanın çalışabilmesi için uyumlu olacak şekilde seçilmiştir.



(a) Metal halojenli deşarj lamba

(b) İgnitör

(c) Balast

Şekil 4.6. Metal halojenli aydınlatma sisteminin elemanları.

Üçüncü aydınlatma sistemimiz metal halojenli deşarj lambadır. Sistemin devre dışı (lamba kapalı) ve devrede (lamba açık) olduğu durumları Şekil 4.7’te gösterilmiştir. Şebekeden gelecek dalgalanmaları engellemek ve sabit bir gerilim elde etmek amacıyla metal halojenli lambaları çalışma esnasında yardımcı elemanlara ihtiyaç duymaktadırlar. Bu yüzden sistemimizde balast ve ignitör yardımcı kaynakları kullanılmıştır. Metal halojenli lambanın sahip olduğu dalga boyu spektrometre cihazı ile 536 nm olarak ölçülmüştür ve bitkilerin fotosentez yapabilmesi için gerekli olan dalga boyu aralığındadır. Aynı şekilde spektrometre cihazı ile yapılan ölçümlerde ilişkili renk sıcaklık değeri (CCT) 5767 °K renk geriverim indeksi (CRI) 77 olarak ve aydınlık düzeyi ise 6082 lx olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.7. Metal halojenli lambanın monte edildiği aydınlatma sistemi.

4.2.4. LED flüoresan lambanın kullanıldığı aydınlatma sistemi

Dördüncü aydınlatma sistemimiz LED armatürle oluşturulmuş bir aydınlatma sistemidir. Bu sistemde herhangi bir yardımcı elemana ihtiyaç olmadığı için sadece LED armatür kullanılmıştır (Şekil 4.8). Kullanılan LED lamba 18 W gücünde, 6500 °K renk sıcaklığına sahip ve 1800 lm ışık akısındaki katalog değerlerine sahiptir.



Şekil 4.8. LED lamba.

Bu sistem günümüzdeki son teknoloji olan LED aydınlatma sistemidir. Elektrolüminesans yolla üretilen LED armatürün monte edildiği aydınlatma sisteminin devre dışı (lamba kapalı) ve devrede (lamba açık) olduğu durumları verilmiştir (Şekil 4.9). Sistemin çalışması için yardımcı elemanlara ihtiyaç olmadığından sistemde sadece LED armatür bulunmaktadır. LED'in sahip olduğu dalga boyu spektrometre cihazı ile 443 nm olarak ölçülmüştür. Bu dalga boyu, bitkilerin fotosentez yapabilmesi için gerekli olan dalga boyu aralığındadır. Aynı şekilde spektrometre cihazı ile yapılan ölçümlerde ilişkili renk sıcaklık değeri (CCT) 6729 °K renk geriverim indeksi (CRI) 78,2 olarak ve aydınlık düzeyi ise 475 lx olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.9. LED lamba aydınlatma sistemi.

4.2.5. Cıva buharlı aydınlatma sistemi

Beşinci aydınlatma sistemi cıva buharlı deşarj lambası olup, bu sistemde (a) cıva buharlı lamba, (b) ignitör ve (c) balast kullanılmıştır (Şekil 4.10). Kullanılan cıva buharlı lamba 125 W gücünde, 4200 °K renk sıcaklığı ve 6200 lm ışık akısındaki katalog değerlerine sahiptir. Sistemde kullanılan 125 W gücündeki ignitör ve balast cıva buharlı deşarj lambanın çalışabilmesi için uyumludur.



(a) Cıva buharlı deşarj lamba



(b) İgnitör



(c) Balast

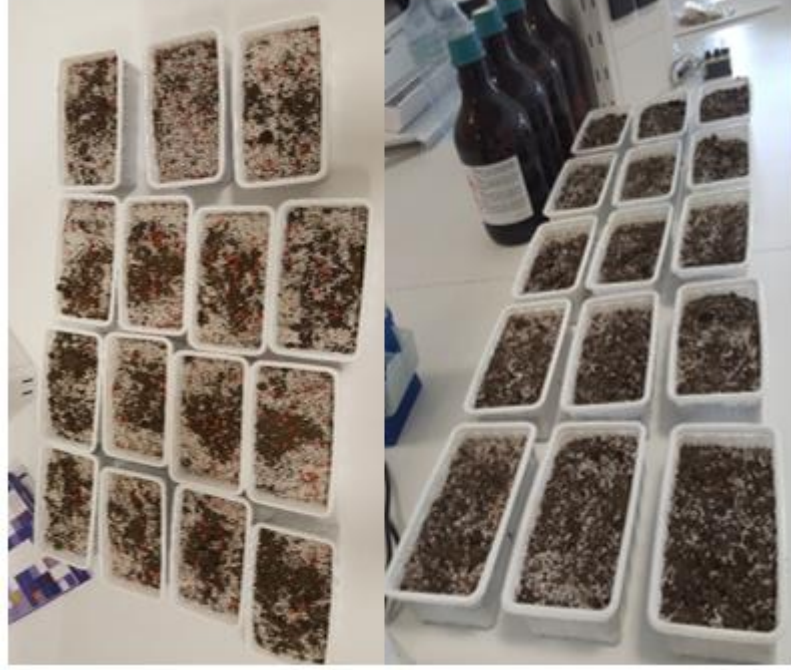
Şekil 4.10. Cıva buharlı lambanın kullanıldığı aydınlatma sistemindeki elemanlar.

Son aydınlatma sistemi cıva buharlı deşarj lambadır. Sistemin devre dışı (lamba kapalı) ve devrede (lamba açık) olduğu durumları Şekil 4.11’de verilmiştir. Şebekeden gelecek dalgalanmaları engellemek ve sabit bir gerilim elde etmek amacıyla cıva buharlı lamba çalışma esnasında yardımcı elemanlara ihtiyaç duymaktadır. Bu yüzden sistemde balast ve ignitör yardımcı kaynakları kullanılmıştır. Cıva buharlı lambanın sahip olduğu dalga boyu spektrometre cihazı ile 577 nm olarak ölçülmüştür ve bitkilerin fotosentez yapabilmesi için gerekli olan dalga boyu aralığındadır. Aynı şekilde spektrometre cihazı ile yapılan ölçümlerde ilişkili renk sıcaklık değeri (CCT) 3985 °K renk geriverim indeksi (CRI) 48,9 olarak ve aydınlık düzeyi ise 3076 lx olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.11. Cıva buharlı lambanın monte edildiği aydınlatma sistemi.

Deney için 1/4’ü perlit, 1/4’ü gübreden oluşan toprak hazırlanmıştır. Bu karışımdan 750 g hazırlanarak 1 kg’lık plastik saksılara konulmuştur. Her bir ışık kaynağı uygulaması için arpa ve buğday tohumlarından 3’er adet saksı hazırlanmıştır. Ekilecek olan tohumlar tartılarak buğday bitkisinden her saksıya 7 g, arpadan ise 5 g tohum ekilmiştir. Daha sonra üzerine 100 g toprak konularak üzeri örtülmüş ve saksılar hazır hale getirilmiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Buğday ve arpa bitkilerinin ekim yapıldığı saksılar.

Saksılar akkor flamanlı (enkandesan) lamba, LED, metal halojenli deşarj lamba, sodyum buharlı ve cıva buharlı deşarj lamba düzeneklerinin altına yerleştirilerek, uzun gün bitkileri grubunda yer alan arpa ve buğday için günlük ışıklanma süresi yaklaşık 13-14 saat olmak üzere ışığa maruz bırakılmıştır (Kılınç ve Kutbay, 2008). Çimlenme tamamlandıktan sonra arpa 11 gün, buğday ise 15 gün boyunca yetiştirildikten sonra bitkiler toprak yüzeyinden kesilerek hasat edilmiştir. Beş farklı aydınlatma düzeneği altında yetiştirilen bitkilerin hasat sonrasında uzunlukları cetvel yardımıyla tespit edilmiş ve hassas terazi ile tartılıp ölçülerek yaş ağırlıkları belirlenmiştir. Daha sonra ise hasat edilen bitkilerden örnekler alınarak klorofil, karoten seviyeleri ve elektrolit sızıntı değerleri tespit edilmiştir.

4.2.6. Hücredeki elektrolit sızıntı miktarının tespit edilmesi

Hasat sonrasında bitki yapraklarından 0.1 g taze bitki numunesi alınarak 12 adet deney tüpünün her birine konulmuş ve bu tüpler içerisine 4 ml saf su eklenerek 4 °C de 1 gün süreyle bekletilmiştir. Daha sonra hücrelere verilen hasarın tespiti için alınan örneklerden saf suya geçen iyon miktarları elektrik kondüktivimetre ile ölçülmüştür (Griffith ve ark., 1992). Gerekli işlemler uygulanarak arpa ve buğday bitkilerinin elektrolit sızıntı miktarları saptanmıştır.

4.2.7. Klorofil ve karotenoid tayini

Klorofil miktarı için hasat yapraklarından 0,5 g numune, porselen havan içerisinde alınarak 20 mL %80 lik aseton içinde porselen havanda tokmakla ezilerek homojenize edilmiştir. Karışım filtre kağıdından süzülerek santrifüj tüpüne alınıp 10 mL'ye tamamlanmıştır. Daha sonra 10 dakika süreyle santrifüj edilmiştir. Elde edilen karışımın 663, 646 ve 440 nm absorbans değerleri spektrofotometre cihazında ayrı ayrı tespit edilmiştir (Şekil 4.13).

Klorofil miktarının hesaplanması için;

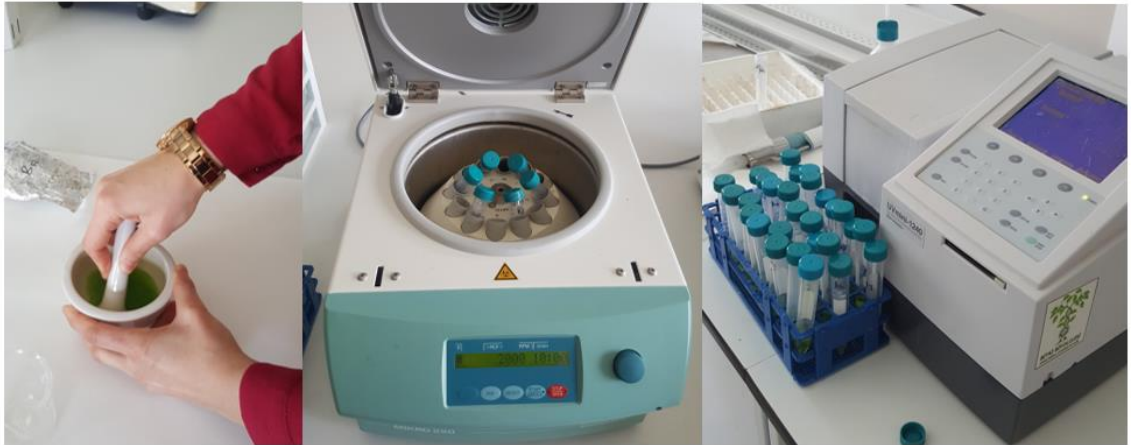
$$\text{Chl}_a = 12,25A_{663} - 2,55A_{646}$$

$$\text{Chl}_b = 20,31A_{646} - 4,91A_{663}$$

$$\text{Chl}_a + \text{Chl}_b = 17,76A_{646} + 7,34A_{663}$$

$$\text{Karotenoid (Car)} = 4,69A_{440} - 0,267\text{Chl}_{a+b}$$

formüllerinden yararlanılmıştır. Sonuçlar mg/ml şeklinde elde edilmiştir (Porra vd., 1989).



Şekil 4.13. Klorofil miktarı ölçümleri için basamaklar.

4.2.8. İstatistiksel analizler

Yapılan çalışmanın sonucunda elde edilen veriler istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

SPSS 22 Paket İstatistik Programı ile %95'lik güven aralığında verilerin ortalama değerleri ve standart hataları hesaplanmıştır. Ayrıca, ANOVA testi yapay ışık kaynakları altında yetiştirilen buğday ve arpalara ait veriler arasındaki farklılıklar LSD ve Dunnett t (2-sided) testi kullanılarak belirlenmiştir (Osma, 2009).

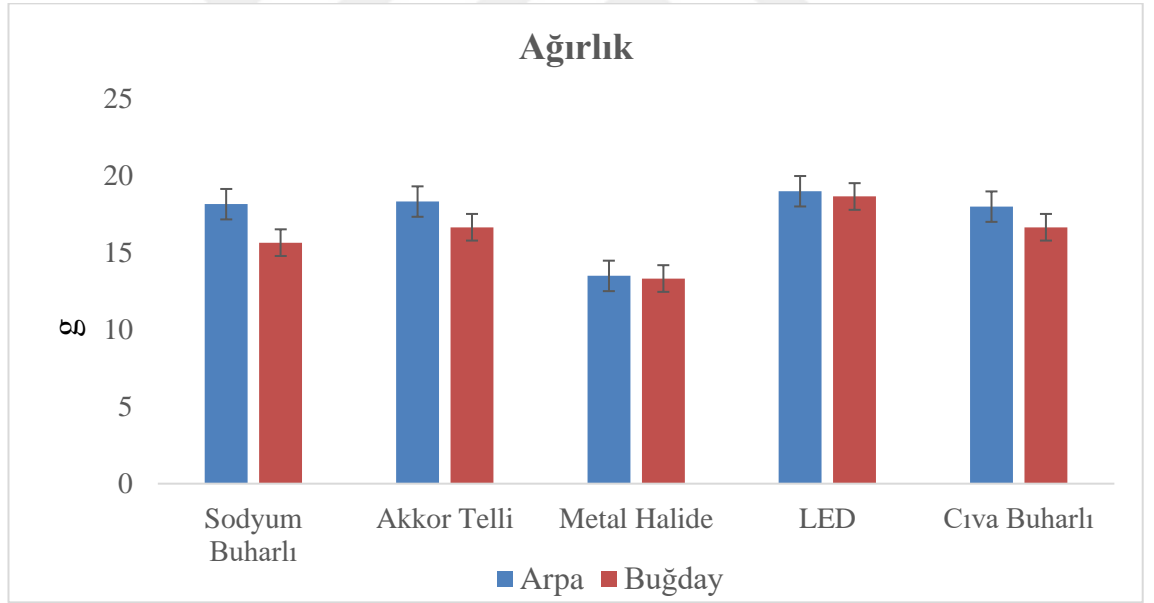


5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çalışmanın bu bölümünde farklı yollarla üretilen yapay ışık kaynakları altında yetiştirilen buğday (*Triticum aestivum* L.) ve arpa (*Hordeum vulgare* L.) bitkileri üzerinde yapılan analiz sonuçlarından elde edilen bulgular irdelenmiştir. Laboratuvar ortamında; sodyum buharlı, cıva buharlı, metal halide deşarj lambaları, LED ve akkor flamanlı (enkandesan) lambalar altında ayrı ayrı yetiştirilen buğday ve arpa bitkilerinin ağırlık, boy, elektrolit sızıntı, klorofil ve karoten miktarlarına ait veriler sunulmuştur. Aynı zamanda elde edilen bulgular grafiklerle gösterilerek analizleri yapılmıştır.

5.1. Arpa ve Buğday Bitkilerinin Ağırlık Verileri

Yetiştirilen arpa ve buğday bitki yaprakları, hasat işleminden hemen sonra tartılarak ağırlık birimi g cinsinden olmak üzere Şekil 5.1'deki grafikte verilmiştir.



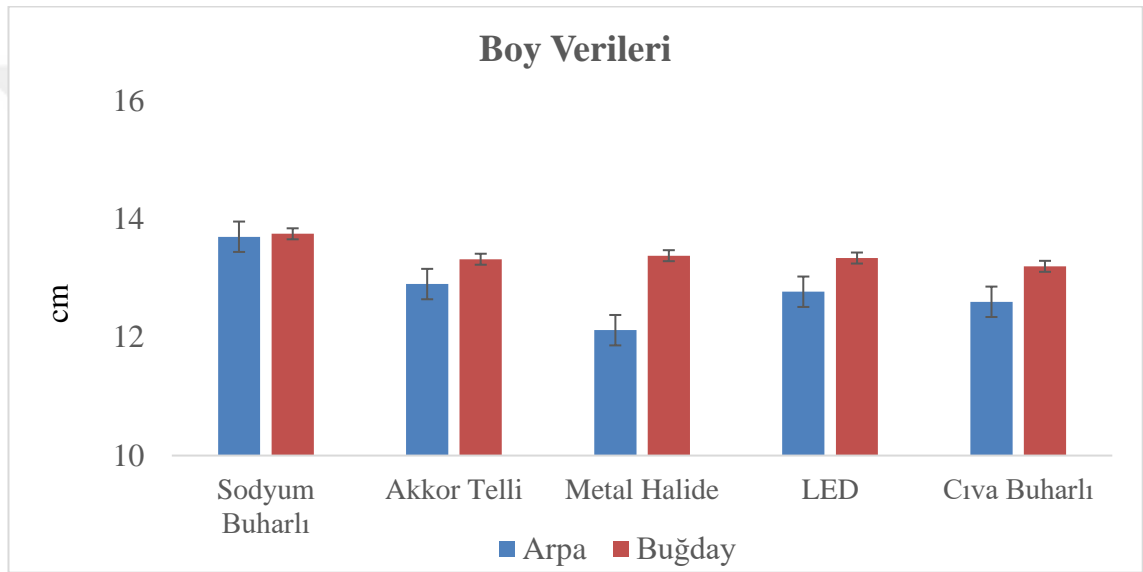
Şekil 5.1. Arpa ve buğday bitkilerinin ağırlık verileri grafiği.

Sodyum buharlı lamba altında yetiştirilen arpa bitkisinin hasat edildikten hemen sonra tartılan yapraklarının ağırlıkları 18 g, akkor flamanlı lambada 18 g, metal halide lambasında 13,5 g, LED'de 19 g ve cıva buharlı lambada ise 18 g olarak saptanmıştır.

Aynı şekilde buğday bitkisinden elde ettiğimiz değerler; sodyum buharlı lambada 15 g, akkor flamanlı lambada 16 g, metal halide 13 g, LED’de 18 g ve cıva buharlı lambada 16 g’dır.

5.2. Arpa ve Buğday Bitkilerinin Boy Verileri

Yetiştirilen arpa ve buğday bitki yapraklarından, hasat işleminden hemen sonra yeterli miktarda alınarak boyları ölçülmüştür. Daha sonra boy verilerinin ortalamaları alınarak cm cinsinden Şekil 5.2’deki grafikte gösterilmiştir.



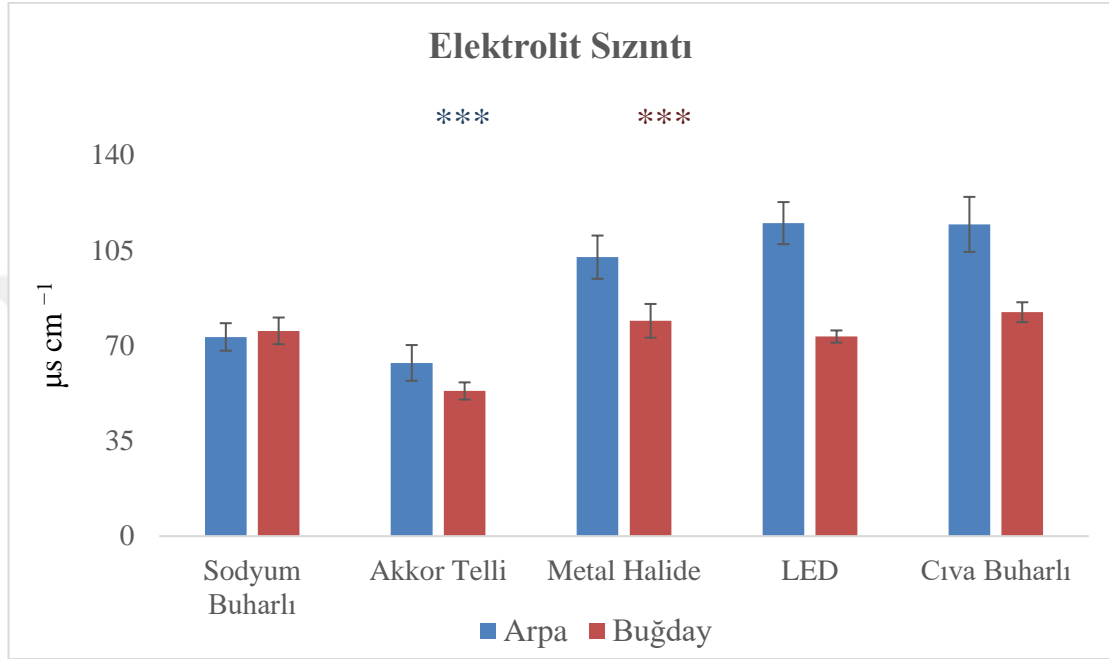
Şekil 5.2. Arpa ve buğday bitkilerinin boy verileri grafiği.

Sodyum buharlı lamba altında yetiştirilen arpa bitkisinin yapraklarından alınan boy verilerinin ortalamalarının hesaplanması sonucunda elde edilen değerler; 13,7 cm, akkor flamanlı lambada 12,9 cm, metal halide lambada 12,12 cm, LED’de 12,77 cm ve cıva buharlı lambada ise 12,6 cm olarak tespit edilmiştir.

Aynı şekilde buğday bitkisinden elde ettiğimiz ortalama değerler; sodyum buharlı lambada 13,75 cm, akkor flamanlı lambada 13,32 cm, metal halide lambada 13,38 cm, LED’de 13,34 cm ve cıva buharlı lambada ise 13,2 cm olarak ölçülmüştür.

5.3. Arpa ve Buğday Bitkileri Elektrolit Sızıntı Miktarları

Bu işlem için arpa ve buğday bitkilerinin yapraklarından numune alınıp, gerekli işlemler uygulanarak elektrolit sızıntı ölçümleri yapılmıştır. Arpa ve buğday bitkilerine ait e-sızıntı sonuçlarına Şekil 5.3'deki grafikte yer verilmiştir.



Şekil 5.3. Arpa ve buğday bitkilerinin elektrolit sızıntı verileri grafiği (*p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001 significant).

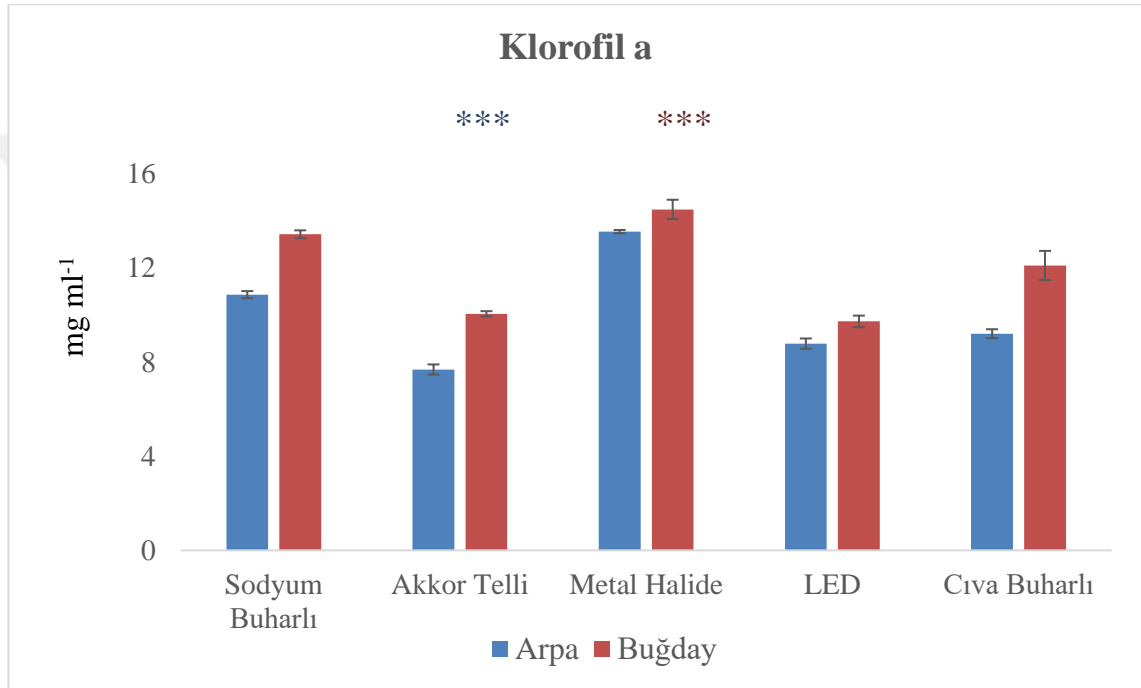
Elde edilen veriler ışığında arpa bitkisi için; sodyum buharlı lambada elektrolit sızıntı miktarı $73,18 \pm 5,05 \mu\text{s cm}^{-1}$, akkor flamanlı lambada elektrolit sızıntı miktarı $63,63 \pm 6,5 \mu\text{s cm}^{-1}$, metal halide lambada elektrolit sızıntı miktarı $102,5 \pm 7,94 \mu\text{s cm}^{-1}$, LED'de elektrolit sızıntı miktarı $115 \pm 7,7 \mu\text{s cm}^{-1}$, cıva buharlı lambada elektrolit sızıntı miktarı $114,6 \pm 10,1 \mu\text{s cm}^{-1}$ 'dir. Buğday bitkisi için elektrolit sızıntı değerleri; sodyum buharlı lambada $75,4 \pm 4,9 \mu\text{s cm}^{-1}$, akkor flamanlı lambada $53,33 \pm 3,1 \mu\text{s cm}^{-1}$, metal halide lambada $79,09 \pm 6,2 \mu\text{s cm}^{-1}$, LED'de $73,3 \pm 2,24 \mu\text{s cm}^{-1}$, cıva buharlı lambada ise $82,27 \pm 3,65 \mu\text{s cm}^{-1}$ 'dir.

Arpa ve buğday bitkilerinin elektrolit sızıntı verileri istatistiksel olarak değerlendirildiğinde çalışılan ışık parametreleri arasında anlamlı farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir.

5.4. Arpa ve Buğday Bitkilerinin Klorofil ve Karoten Miktarları

Bu işlem için arpa ve buğday bitkilerinin yapraklarından yeterli miktarda örnekler alınıp, gerekli işlemler uygulanarak klorofil ve karoten miktarları tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar verilen grafiklerde gösterilmiştir.

Arpa ve buğday bitkilerinden elde edilen klorofil a değerine göre çizilen grafik Şekil 5.4'de verilmiştir.

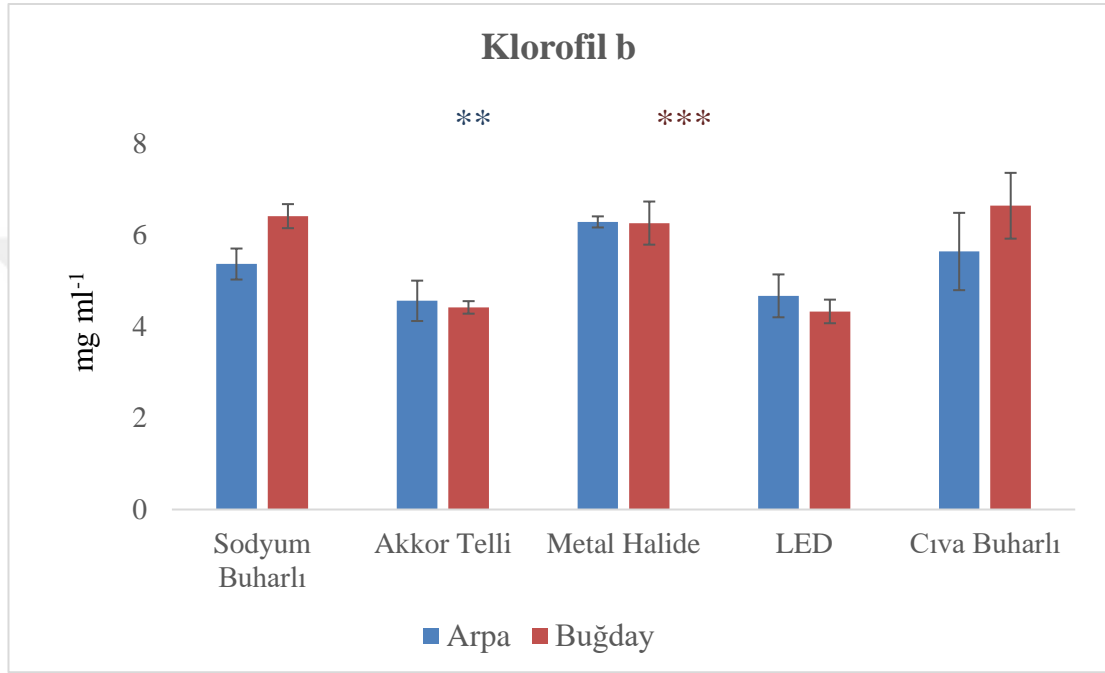


Şekil 5.4. Arpa ve buğday bitkilerinin klorofil a verileri grafiği (*p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001 significant).

Elde edilen veriler doğrultusunda istatistiksel analiz programında çıkan sonuçlara göre arpa bitkisinin klorofil a değerleri sodyum buharlı lambada $10,87\pm 0,15$ mg ml⁻¹, akkor flamanlı lambada $7,68\pm 0,21$ mg ml⁻¹, metal halide lambada $13,54\pm 0,06$ mg ml⁻¹, LED'de $8,78\pm 0,21$ mg ml⁻¹, cıva buharlı lambada ise $9,21\pm 0,19$ mg ml⁻¹'dir. Aynı şekilde analiz sonuçlarına göre buğday bitkisinin klorofil a değerleri; sodyum buharlı lambada $13,43\pm 0,16$ mg ml⁻¹, akkor flamanlı lambada $10,05\pm 0,11$ mg ml⁻¹, metal halide lambada $14,49\pm 0,4$ mg ml⁻¹, LED'de $9,73\pm 0,24$ mg ml⁻¹, cıva buharlı lambada ise $12,11\pm 0,62$ mg ml⁻¹'dir.

Arpa ve buğday bitkilerinin klorofil a verileri istatistiksel olarak değerlendirildiğinde çalışılan ışık parametreleri arasında güçlü yönde anlamlı farklılıklar olduğu tespit edilmiştir.

Arpa ve buğday bitkilerinden elde edilen klorofil b değerine göre oluşturulan grafik Şekil 5.5'te verilmiştir.



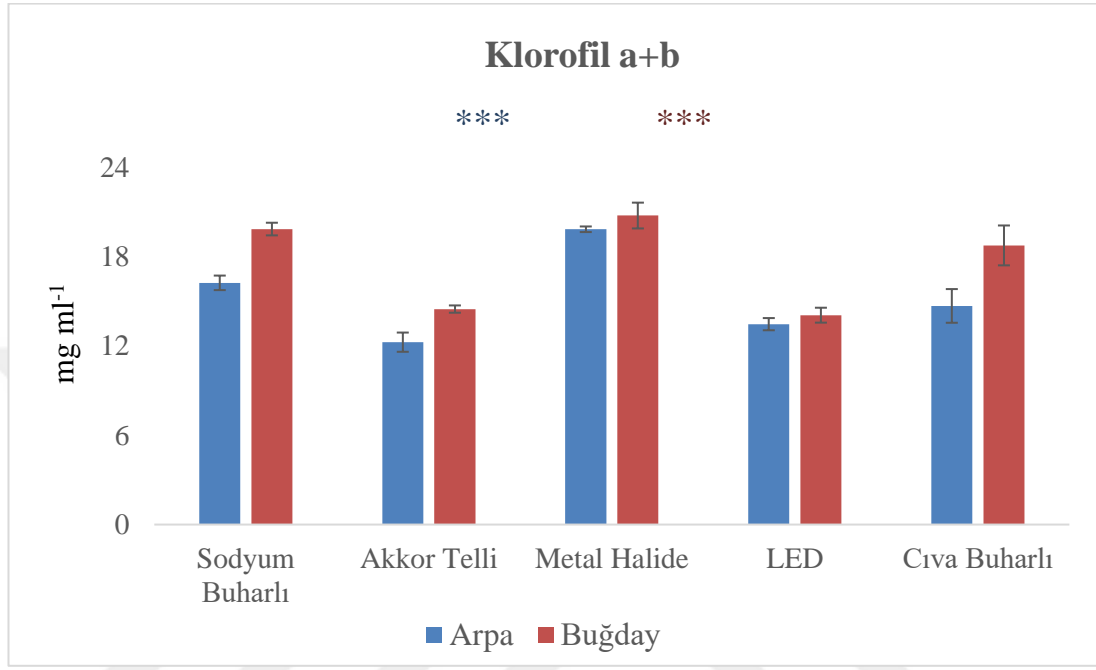
Şekil 5.5. Arpa ve buğday bitkilerinin klorofil b verileri grafiği (*p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001 significant).

Elde edilen veriler ışığında yapılan istatistiksel analiz programı sonuçlarına göre; sodyum buharlı lambada arpa bitkisinin klorofil b değeri $5,36\pm 0,33$ mg ml⁻¹, buğday bitkisinin klorofil b değeri $6,41\pm 0,26$ mg ml⁻¹. Akkor flamanlı lambada arpa bitkisi klorofil b değeri $4,56\pm 0,44$ mg ml⁻¹, buğday bitkisi klorofil b değeri $4,41\pm 0,13$ mg ml⁻¹'dir. Metal halide lambada arpa bitkisi klorofil b değeri $6,28\pm 0,12$ mg ml⁻¹, buğday bitkisi klorofil b değeri $6,26\pm 0,47$ mg ml⁻¹'dir. LED'de arpa bitkisi klorofil b değeri $4,67\pm 0,46$ mg ml⁻¹, buğday bitkisi klorofil b değeri $4,33\pm 0,25$ mg ml⁻¹'dir. Cıva buharlı lambada arpa bitkisi klorofil b değeri $5,64\pm 0,84$ mg ml⁻¹, buğday bitkisi klorofil b değeri $6,64\pm 0,72$ mg ml⁻¹'dir.

Klorofil b parametresi için buğday ve arpa bitkilerinden elde edilen analiz sonuçları karşılaştırılmıştır ve çalışılan ışık kaynakları arasında buğday bitkisinde yüksek düzeyde

anlamli farklilik gorulurken, arpa bitkisinde orta duzeyde anlamli farklilik oldugu tespit edilmiştir.

Klorofil a+b için tespit edilen sonuçlara göre oluşturulan grafik Şekil 5.6'te verilmiştir.

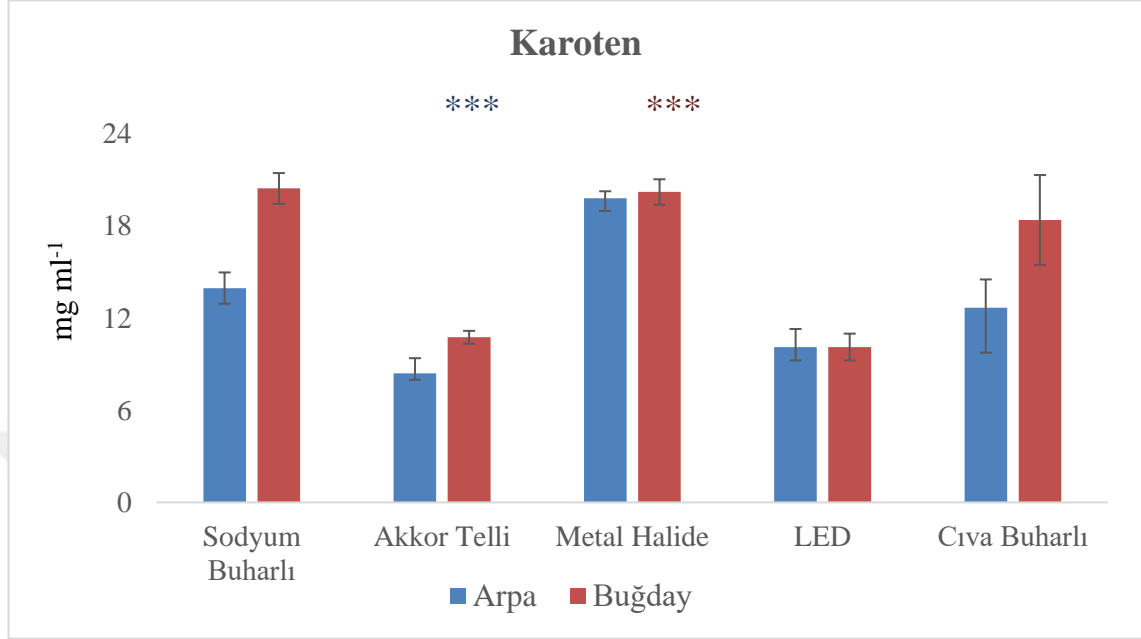


Şekil 5.6. Arpa ve buğday bitkilerinin klorofil a+b verileri grafiği (*p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001 significant).

Şekil 5.6'daki grafikte de görülen, analizler sonucu elde edilen veriler doğrultusunda arpa bitkisi için; sodyum buharlı lambada klorofil a+b değeri 16,23±0,48 mg ml⁻¹, akkor flamanlı lambada klorofil a+b değeri 12,25±0,64 mg ml⁻¹, metal halide lambada klorofil a+b değeri 19,83±0,18 mg ml⁻¹, LED'de klorofil a+b değeri 13,45±0,40 mg ml⁻¹, cıva buharlı lambada klorofil a+b değeri 14,68±1,13 mg ml⁻¹'dir. Buğday bitkisi için; sodyum buharlı lambada klorofil a+b değeri 19,85±0,42 mg ml⁻¹, akkor flamanlı lambada klorofil a+b değeri 14,47±0,24 mg ml⁻¹, metal halide lambada klorofil a+b değeri 20,75±0,86 mg ml⁻¹, LED'de klorofil a+b değeri 14,06±0,50 mg ml⁻¹, cıva buharlı lambada klorofil a+b değeri 18,75±1,33 mg ml⁻¹'dir.

Buğday ve arpa bitkilerinin klorofil a+b parametresi için analiz sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen veriler istatistiksel olarak değerlendirildiğinde kullanılan ışık kaynakları arasında güçlü yönde anlamli farkliliklar olduğu gözlemlenmiştir.

Son olarak ise yapılan çalışmada arpa ve buğday bitkilerinin karoten değerlerinin analiz sonuçlarına göre oluşturulan grafik Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Arpa ve buğday bitkilerinin karoten miktarları grafiği (*p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001 significant).

Elde edilen veriler ışığında arpa bitkisi için; sodyum buharlı lambada karoten değeri 13,94±1,03 mg ml⁻¹, akkor flamanlı lambada karoten değeri 8,40±0,99 mg ml⁻¹, metal halide lambada karoten değeri 19,8±0,45 mg ml⁻¹, LED’de karoten değeri 10,11±1,17 mg ml⁻¹, cıva buharlı lambada karoten değeri 12,68±1,84 mg ml⁻¹’dir. Buğday bitkisi için; sodyum buharlı lambada karoten değeri 20,45±1,00 mg ml⁻¹, akkor flamanlı lambada karoten değeri 10,75±0,41 mg ml⁻¹, metal halide lambada karoten değeri 20,22±0,82 mg ml⁻¹, LED’de karoten değeri 10,12±0,87 mg ml⁻¹, cıva buharlı lambada karoten değeri 18,39±2,93 mg ml⁻¹’dir.

Karoten değerleri için yapılan istatistiksel analiz sonuçlarının anlamlılık durumlarına bakılacak olursa arpa ve buğday bitkilerinin yetiştirilmesi için kullanılan ışık kaynakları arasında çok anlamlı farklılıklar olduğu ortaya konulmuştur.

Son olarak değindiğimiz bir başka önemli konu ise çalışmada kullanılan lambaların saatte harcamış oldukları enerjidir. Bu konu enerji tasarrufu ve maliyet açısından önemlidir. Lambaların harcadıkları enerji lamba güçleri ile doğru orantılıdır. Enerji

sarfıyatı sistemlerde kullandığımız kurulu güçleri esas alır. Her bir sistemin tükettiği elektrik enerjisi miktarı aşağıda verilen formüle göre belirlenir;

$$M = P * T * GS$$

M kWh cinsinden tüketim miktarını,

P kW cinsinden lambaların güçlerini,

T günlük çalışma sürelerini,

GS lambaların kullanıldığı gün sayısını,

ifade eder.

Çalışmada, oluşturulan aydınlatma sistemleri aynı çalışma sürelerinde devrede kaldığı için formülde sadece güç cinsinden hesaplanmıştır.

Tablo 5.1. Lambaların harcamış oldukları enerji

Lamba	Güç (W)	Harcadıkları Enerji (kWh)
Sodyum buharlı deşarj lamba	70 W	0,07 kWh
Akkor telli (enkandesan) lamba	42 W	0,042 kWh
Metal halojenli deşarj lamba	400 W	0,4 kWh
LED	18 W	0,018 kWh
Cıva buharlı deşarj lamba	125 W	0,125 kWh

Tablo 5.1’de laboratuvar ortamında kullanılan lambalara ait tüketilen enerji miktarları verilmiştir. Enerji yönünden lambalar kıyaslandığında; LED lambanın tükettiği enerji miktarı 0,018 kWh buna karşılık karoten değeri buğday için $10,12 \pm 0,87$ mg ml⁻¹, arpa için $10,11 \pm 1,17$ mg ml⁻¹ klorofil a+b değeri buğday için $14,06 \pm 0,50$ mg ml⁻¹, arpa için $13,45 \pm 0,40$ mg ml⁻¹’dir. Diğer taraftan metal halide deşarj lamba ve sodyum buharlı deşarj lambanın tükettikleri enerji miktarları LED’e göre yüksek olmasına rağmen buna paralel olarak klorofil ve karoten miktarları da yüksektir. Bu doğrultuda enerji yönünden metal halide ve sodyum buharlı lamba dezavantajlı gözükmesine karşın biyolojik değerler yönünden istenilen avantajı sağlamıştır. Fakat LED lamba hem enerji hem de ağırlık ve boy miktarları yönünden incelendiğinde ise hepsine göre avantaj

sağlamaktadır. Akkor flamanlı (enkandesan) lamba enerji tüketimi açısından avantajlı görünmesine rağmen biyolojik açıdan dezavantajlıdır. Cıva buharlı lamba ise hem enerji tüketimi yönünden hem de biyolojik ve fizyolojik yönden diğerlerine göre dezavantajlıdır.



6. TARTIŞMA

Çalışmanın bu bölümünde sodyum buharlı, cıva buharlı, metal halide, LED ve akkor flamanlı (enkandesan) yapay ışık kaynakları altında ayrı ayrı yetiştirilen buğday (*Triticum aestivum* L.) ve arpa (*Hordeum vulgare* L.) bitkilerinin ağırlık, boy, elektrolit sızıntı, klorofil ve karoten miktarlarına ait elde edilen veriler, diğer çalışmalar ile karşılaştırılıp aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

Aydınşakir ve ark. (2005), yapmış oldukları bir çalışmada, akkor telli ve sodyum buharlı lambanın Altınbaşak (*Solidago x hybrida* ‘Tara’) bitkisinin verim ve kalite özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Altınbaşak fidesi için kritik gün uzunluğu 13 saat olacak şekilde doğal gün uzunluğunun devamı şeklinde ek aydınlatma yapmışlar. Yapmış oldukları çalışmanın sonucunda ise sodyum buharlı lamba uygulamalarının verim, sap uzunluğu, salkım uzunluğu, gövde çapı çiçekli sürgün yaş ağırlığı değerleri üzerinde en iyi sonucu verdiğini belirlemişlerdir. Bu çalışmada ise akkor telli lamba ve sodyum buharlı lamba altında bitkiler yetiştirilmiş ve bitkilerde ki birtakım potansiyel değişimler belirlenmiştir. Elde edilen veriler karşılaştırıldığında sodyum buharlı lambanın akkor telli lambaya göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Aksoy (2008), dış mekân aydınlatmalarını Gelin duvağı, Güvercin Üzüümü, İpek Ağacı, Ağaç Hatmi, Çit Hatmi, Çalı Mine, Fıstık Çamı, Yalancı Akasya bitkileri üzerine uygulamış ve söz konusu olan bitkiler üzerindeki etkilerini incelemiştir. Gece sürekli kullanılan ışık kaynağı olarak 10 m yüksekliğinde 250 W’lık Cıva buharlı lamba kullanılmıştır. Gece sürekli aydınlatmanın yapıldığı alanda Fıstık Çamı, Ağaç Hatmi, Yalancı Akasya ve Çit Hatmi bitkileri üzerinde olumlu yönde bir etkilenme gözlemlenmiş ve diğer bitkiler üzerinde de olumsuz bir etki belirlenmemiştir. Bu nedenle araştırma konusu olan tüm bitki türlerinin sürekli gece aydınlatması olan alanlarda kullanılabilmesi öngörülmüştür. Bu çalışmada ise her bir üretim yolundan elde edilen ışık kaynakları kullanılarak buğday ve arpa bitkileri üzerinde meydana gelen değişimler incelenmiş ve yetiştirilen bitkilere uygulanan parametreler kendi aralarında karşılaştırılmıştır.

Yeh ve Chung (2009), doku kültürü ve büyüme odası endüstrilerinde üretim amaçlı tüp biçimli flüoresan lamba, yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba, metal halojen lamba ve

akkor flamanlı lambaların uzun süredir kullanıldığından bahsetmiştir. Bu yapay ışık kaynaklarından en çok kullanılan flüoresan lambanın doku kültür laboratuvarında toplam elektrik tüketiminin %65'ini oluşturduğundan söz etmiş ve sonuç olarak yüksek enerji verimliliği sağlayan LED'lerin kapalı mekân bitki yetiştiriciliğindeki potansiyelini incelemişlerdir. LED'lerin, uzay tabanlı bitki araştırma odası veya biyo-üretken yaşam destek sistemleri için birincil ışık kaynağı olduğunu önermişlerdir. Bu çalışmada akkor flamanlı lamba, sodyum ve cıva buharlı lamba, metal halojenli lamba ve LED yapay ışık kaynakları kullanılarak buğday ve arpa bitkileri üzerinde meydana gelen değişimler analiz edilmiştir. Bitkilerin karoten, klorofil miktarlarına bakılmış, metal halide lambada diğer ışık kaynaklarına nazaran daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Chen ve ark. (2017), LED'ler tarafından sağlanabilen alternatif kırmızı ve mavi ışığın marulun büyüme ve besin özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Bu araştırmada kırmızı ve mavi LED ışıklarının bitki üzerindeki etkisini ortaya koyabilmek için, kırmızı ve mavi LED ışıklarını farklı zaman aralıklarında ve farklı kombinasyonlar ile bitki üzerine uygulamışlardır. Kırmızı ve mavi ışığın farklı alternatiflerinin marul bitkisinin kalite ve büyüme özelliklerinde bilinçli olarak ayarlanabileceğinin sonucuna varmışlardır. Ancak marulun besinsel kalitesi veya en yüksek biokütlesi için en uygun kırmızı, mavi ışık alternatifini belirlemek için daha fazla deney yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada, LED armatürün yanı sıra sodyum buharlı ve cıva buharlı deşarj lambaları, metal halide lamba ve akkor flamanlı lambadan yararlanılarak bitkiler yetiştirilmiş ve bitkide meydana gelen değişimler incelenmiştir.

Yorio ve ark. (2001), ıspanak, turp ve marul bitkilerinin mavi ışık ile desteklenmiş kırmızı LED altında gelişimini incelemişlerdir. Turp (*Raphanus sativus* L. cv. Cherriette), marul (*Lactuca sativa* L. cv. Waldmann's Green) ve ıspanak (*Spinacea oleracea* L.) bitkileri 660nm kırmızı LED ışığı altında büyütülmüş ve soğuk beyaz flüoresan lamba (CWF) ya da mavi flüoresan (BF) lambalardan %10 kadar mavi ışık (400-500 nm) ile desteklenmiş kırmızı LED'ler altında yetiştirilmiş bitkiler ile eşit fotosentetik foton akısı (PPF) karşılaştırılmıştır. Bitkiler ekildikten 21 gün sonra, yaprak fotosentetik oranı ve stoma iletkenliği incelenmiştir. Soğuk beyaz flüoresan lamba altında yetiştirilen bitki, mavi ışıkla desteklenmiş veya desteklenmemiş kırmızı LED ışıkları altında yetiştirilenden daha fazla olduğunu ortaya koymuşlar. Ayrıca turp ve

ıspanak için toplam kuru ağırlığı mavi flüoresan ve %10 mavi ışık ile desteklenmiş kırmızı LED ışıkları ile yetiştirilen, soğuk beyaz flüoresan ışığı altında yetiştirilenden çok daha fazla düşüktür ve bu ürünler için maksimal bir büyüme elde etmek için kırmızı LED'lere mavi ışığın eklenmesinin hala yetersiz olduğu bilgisi önerilmektedir. Bu çalışmada buğday (*Triticum aestivum* L.) ve arpa (*Hordeum vulgare* L.) bitkileri farklı yapay ışık kaynakları altında yetiştirilmiş ve her bir kaynak altında yetişen bitki diğerleri ile karşılaştırılmıştır.

Demirsoy ve ark. (2016), sera koşullarında sonbahar ve ilkbahar dönemlerinde yetiştirilen patlıcan (*Solanum melongena* L.) fidelerinin büyümesi ve fide kalitesine üç farklı ışık kaynağının (yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba, akkor telli lamba ve ışık yayan diyot) ve bunların iki farklı renginin (kırmızı ve mavi) etkilerini incelemişlerdir. Analizlerde oransal yaprak ağırlığı, oransal gövde ağırlığı, oransal kök ağırlığı, yaprak alanı, yaprak kalınlığı, özgül yaprak alanı ve oransal yaprak alanı parametrelerini belirlemişler. Araştırma sonucunda, ışık kaynakları altında yetişen patlıcan fidelerinin boyları karşılaştırıldığında akkor telli lamba altındaki uygulamanın en kısa fide boyuna sahip olduğunu belirlemişlerdir. Uzun (1996), patlıcanda bitki boyu değişiminin sıcaklıkla doğrusal ve ışıkla eğrisel olarak artış gösterdiğine değinmiştir. Çalışmada patlıcan bitkisinde yüksek ışık şiddeti şartlarında sıcaklığın 10 °C'nin üzerine çıkması ile bitki boyunda eğrisel bir artış olduğuna değinmişler ve sıcaklığın belirli bir dereceden sonraki artışlarda ise eğrisel olarak bir azalmanın gerçekleştiğinden bahsetmişlerdir. Ayrıca mavi ışık uygulaması ile yetiştirilmiş fidelerin özellikle ilkbahar döneminde incelenen bazı parametrelerin en yüksek düzeye ulaştığı sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada ise arpa ve buğday bitkileri ışığa maruz bırakılmış ve bitkilerin büyüme parametreleri incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda boy verilerine bakıldığında akkor telli lamba diğerleriyle karşılaştırıldığında daha kısa olduğu sonucuna varılmıştır.

Çakırcı, ve vd. (2017), yaptığı bir derlemede bahçe bitkilerinde yaygın olarak kullanılan akkor telli lambalar, metal halojen lambalar, flüoresan lambalar, yüksek basınçlı sodyum buharlı deşarj lambaları ve LED ışık kaynakları ile ilgili birtakım özelliklere değinmiş ve bitkiler üzerindeki etkilerini ayrı ayrı başlıklar altında incelemişler. Yapılan çalışmalardan oluşturdukları bu derlemede yüksek basınçlı sodyum buharlı lambanın domateste verim ve kaliteyi arttırdığı ve domates, biber, hıyar, patlıcanda ise fide başına

düşen yaprak sayısı ve alanını arttırdığı bilgisine ulaşmışlardır. Bu çalışmada ise buğday ve arpa bitkileri günlük ışıklandırma süresi 13 saat olacak şekilde akkor telli, sodyum buharlı, cıva buharlı, metal halojen lamba ve LED ışığına maruz bırakılmıştır. Bitkilerin büyüme parametreleri gibi birçok parametre göz önüne alınarak bitkilerde oluşan değişimler birbirleri arasında kıyaslanmıştır. Sodyum buharlı ve metal halojen lambanın çalışmada kullanılan diğer lambalara kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği elde edilmiştir.

Islam ve ark. (2012), LED'ler tarafından sağlanan mavi ışığın yüksek oranda kullanımını (%20 mavi, %80 kırmızı) Atatürk çiçeği bitkisini yetiştirmek için benzer sabit ışıkta fitokrom sağlayan geleneksel yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba ile karşılaştırmışlar. Hem sera hem de büyüme odasında tüm çeşitler yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba ile karşılaştırıldığında LED için %20-34 daha kısa olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Aynı zamanda toplam kuru madde birikimi ve klorofil içeriğinin yanı sıra yaprak ve brakte alanı da LED ışığı altında daha düşük olduğunu belirtmişler. LED sodyum buharlı lamba ile karşılaştırıldığında çiçeklenme, görünür cyathia ve bract renk oluşumu gibi özellikleri geciktirmediği gözlemlenmiş ve iki ışık işlemi arasında direk üretim performansında hiçbir fark olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada farklı ışıklar altında yetiştirilen bitkilerin klorofil a ve b, karoten, boy, ağırlık ve elektrolit sızıntı miktarları ölçülerek analiz yapılmıştır.

Choi ve ark. (2014), üç farklı dalga boyundaki (mavi, kırmızı ve mavi-kırmızı) LED ışığı altında, olgun çilek bitkilerinin yetiştirilmesi esnasında büyüme özelliklerini ve meyvenin kalitesini belirleyen fitokimyasalların üretimini araştırmışlardır. Tek ışık kaynağı olarak LED ile aydınlatılan büyüme odası ve ortam ışığına ek olarak verilen LED aydınlatmalı plastik sera olmak üzere iki ayrı lokasyonda yetiştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Klorofil seviyeleri kıyaslandığında büyüme odasında yetiştirilen bitki yapraklarının plastik serada yetiştirilenden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Buna karşılık ek LED ışıkları ile plastik serada yetiştirilen bitkiler, büyüme odasında yetiştirilenlerden daha fazla meyve üretimi vermiştir. Ortam ışığına mavi LED ışığı veya kombine mavi ve kırmızı LED ışığı eklendiği zaman plastik serada meyve üretiminin dikkate değer seviyede olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada akkor telli lamba, sodyum buharlı ve cıva buharlı lamba, metal halide deşarj lamba ve LED armatürlerden yararlanarak bitkiler yetiştirilmiş ve bitkilerde ki değişimler gözlemlenmiştir.

Ptushenko ve ark. (2015), eşit fotosentetik aktif radyasyon yoğunluklu geniş spektrumlu yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba ile karşılaştırıldığında dar bantlı kombine kırmızı ve mavi LED ışıkları altında çin lahanasının (*Brassica chinensis* L.) gelişimindeki düşüşün olası nedenlerini araştırmışlardır. Yüksek basınçlı sodyum buharlı tarafından sağlanan çok renkli geniş bant ışıktaki sarı-yeşil bileşenleri aslında daha az azaltıp daha düşük seviyelere ulaşmasını sağlarken kırmızı-mavi LED ışığı üst yapraklar tarafından etkili bir şekilde emilir. Bitki örtüsündeki ışık dağılımının LED ışığı altında bitki büyümesini sınırlayan önemli bir faktör olabileceği öngörüsünde bulunmuşlar. Sonuçları spektrumun sarı-yeşil aralığında fotosentez kullanımında radyasyonun rolü açısından tartışmışlardır. Bu çalışmada tek renk LED ile birlikte diğer yapay ışık kaynakları kullanılmış ve bitkiler bu ışık kaynakları altında yetiştirilerek bitkiler üzerinde meydana gelen değişimler gözlemlenmiştir.

Hernandez ve ark. (2016), çalışmalarında soğuk beyaz flüoresan lambalar ve LED'lerin mavi-kırmızı foton akısı oranlarının farklı yüzdesel değerleri altında domates tohumlarının büyümesini ve morfolojik etkilerini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Domates tohumları iklim kontrollü büyüme odalarında yetiştirilmiş ve LED'lerin sahip olduğu 7 farklı mavi-kırmızı foton akısı oranı kullanılmıştır. Kontrol grubu olarak soğuk beyaz flüoresan lambalar kullanmışlardır. Gövde uzunluğu, yaprak sayısı, büyüme oranları, kuru ve yaş ağırlıkları gibi fizyolojik ve morfolojik değişiklikleri gözlemlemişler. 50M:50K ve 30M:70K foton akısı içeren LED'lerin domates tohumunun üretilmesi için en iyi spektrum olduğu ve soğuk beyaz flüoresan lamba, 75M:25K, 10M:90K, 20M:28Y:52K foton akısı içeren LED altında ise kabul edilebilir bitki kalitesi elde edildiği sonucuna varmışlardır. Bu çalışmada farklı ışık kaynakları altında yetiştirilen buğday ve arpa bitkilerinde meydana gelen değişimler incelenerek sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Işık, tarımsal üretimin en önemli parametrelerinden biri olarak kabul edilmektedir. Gün ışığı gerek gün boyunca gerekse yıl boyunca hava koşulları ve mevsime bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu bağlamda gün ışığına ilaveten yapay ışık kaynaklarının kullanılması günümüzde önemli hale gelmiştir. Çalışmada, piyasada kolaylıkla temin edilebilecek yapay ışık kaynaklarının bitkiler üzerindeki etkilerini araştırmak ve kullanılan ışık kaynakları arasındaki en uygun niteliklere sahip ışığın tespit edilerek tarımsal üretimde verimliliğin artırılması amaçlanmıştır.

Bu çalışmada laboratuvar ortamında farklı özelliklere sahip yapay ışık kaynakları altında bitkiler yetiştirilmiş ve kullanılan ışıkların bitkilerdeki birtakım fiziksel ve kimyasal etkileri araştırılmıştır. Analizler sonucu elde edilen veriler göz önüne alınarak ışığın bitkiler üzerinde çeşitli etkiler oluşturduğu belirlenmiştir. Bitki üretiminde kullanılan yapay ışık kaynaklarının özellikleri çok önem taşımaktadır. Bu bağlamda çalışmada kullanılan ışık kaynaklarının fotometrik özellikleri ölçülerek yöntem kısmında verilmiştir.

Çalışmada genel olarak üç farklı ışık üretim metodu ile (termik yolla, deşarj dayanan ve elektrolüminesans yolla) ışık üretimi yapan yapay ışık kaynakları kullanılmıştır. Sodyum buharlı ve cıva buharlı deşarj lambalar, metal halide lamba, LED ve akkor telli (enkandesan) lamba altında yetiştirilen *Hordeum vulgare* L. (arpa) ve *Triticum aestivum* L. (buğday) bitkilerinin boy ölçüleri, yaş ağırlık değerleri gibi fiziksel özelliklerinde ve klorofil, karoten, elektrolit sızıntı miktarlarında kayda değer farklılıkların olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan deneylerden elde edilen verilerin literatür ile örtüştüğü gözlemlenmiştir. Araştırma sonucunda çalışmada kullanılan lambalar altında yetiştirilen bitkilerin boy ve ağırlık verileri karşılaştırıldığında; metal halojenli deşarj lamba altında yetiştirilen bitkinin diğer ışık kaynakları altında yetiştirilenlere oranla daha az olduğu gözlemlenmiştir. Klorofil a ve b, karoten miktarları en yüksek metal halojenli lambada olduğu belirlenirken en düşük akkor telli lambada gözlemlenmiştir. Elektrolit sızıntı miktarı ise diğer ışık kaynaklarına nazaran akkor telli lambada daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Işığın bitki büyümesi ve gelişimi üzerindeki etkileri araştırmaya ve geliştirmeye oldukça açık bir konudur. Özellikle günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte yapay ışık kaynaklarında yaşanan gelişmeler, yapılan çalışmaların daha da artmasını sağlamıştır. Bitkiye uygulanan ışık yoğunluğunun az olması kadar fazla olması da fotosentezde sınırlayıcı bir etki yapmaktadır. Bitki yetiştiriciliğinde kullanılan yapay aydınlatma yöntemleri ile bitkiler için uygun nitelikte bir aydınlatma sağlanmalıdır. Bu açıdan kullanılan armatürlerin özellikleri oldukça önemlidir. Tarımsal üretimde verimliliği en iyi şekilde kullanmak, ışık kalitesinin ve diğer çevresel parametrelerin etkileşimini anlamak için yapılan araştırmaların devam etmesi gerekmektedir. Bu çalışma ileride yapılacak olan çalışmalara yol göstermesi bakımından önemlidir.



KAYNAKLAR

- Akbulut M., Gül Ö., (2009) “LED’li ışık kaynaklarının karakteristiklerini belirlemeye yönelik ölçmeler”, *V. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi*, İzmir, 7-8.
- Aksoy E., (2008) “Dış mekân aydınlatmalarının bazı bitki türlerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana.
- Aktaş, İ., (2012) “Dinamik aydınlatmanın insan sağlığı üzerindeki etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 5-10.
- Andiç C., (1993) “Tarımsal ekoloji”, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 106*, Ders Notları, Erzurum.
- Aslan, Z., ve Onaygil, S., (2001) “Işık kirliliği ve enerji tasarrufu”, *Işık Kirliliği Ulusal Komitesi*,
http://www.tug.tubitak.gov.tr/dokumanlar/isik_kirliligi/ikuk/makaleisikenerji.htm Erişim Tarihi:04.07.2018
- Aydınşakir, K., Özkan, H., Karagüzel, Ö., ve Kaya, A.S. (2005) “Farklı ışık kaynaklarının Altınbaşak (Solidago x hybrida ‘Tara’)’da verim ve kalite özelliklerine etkisi”, *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(3), 377-384.
- Başer, E., (2006) “Farklı aydınlatma programları ile mısır ve tritikale esaslı rasyonların etlik piliçlerin verim performansı karkas özellikleri ve yağlanması üzerine etkileri”, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Coaton, J.R., Marsden, A.M., (1997) “Lamps and lighting”, *Routledge*, New York, 3-5.
- Çağlayan, N., (2013) “Seralar için LED lambalı aydınlatma otomasyon sisteminin tasarlanmasına ve uygulanmasına yönelik bir çalışma”, Doktora Tezi, *Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Antalya.
- Çakırer G., Akan, S., Demir, K., ve Yanmaz, R., (2016) “Bahçe bitkilerinde kullanılan ışık kaynakları”, *Akademik Ziraat Dergisi*, Cilt:6 Özel Sayı:63-70, 2147-6403.
- Çalkın, Y., Türkoğlu A.K., (2011) “Aydınlatmanın tarihi gelişimi” *Bilim ve Teknik*, 80-83.
- Çetin, M., (2016) “Peyzaj çalışmalarında kullanılan bazı bitkilerde klorofil miktarının değişimi”, *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 16(1), 239-245.
- Chen X., Yang Q., Song W., Wang L., Guo W., Xue X. (2017) “Growth and nutritional properties of lettuce affected by different alternating intervals of red and blue LED irradiation”, *Scientia Horticulturae* 223, 44–52.

- Choi H. G., Moon B. Y., Kang N. J. (2015) "Effects of LED light on the production of strawberry during cultivation in a plastic greenhouse and in a growth chamber", *Scientia Horticulturae* 189, 22–31.
- Çoban K. O., (2010) "Aydınlatma elemanlarının verimliliği ve enerji kalitesi üzerine etkisinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 5-7.
- Çoşkun, Y. (2013) "20. Yüzyılın ilk çeyreğinde İstanbul'da aydınlatma aracı olarak elektrik", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Ankara, 25-27.
- Dayıoğlu, M.A., ve Silleli, H., (2012) "Seralar için yapay aydınlatma sistemi tasarımı: Günlük ışık integrali yöntemi", *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 8(2), 233-240.
- Demirsoy, M., Balkaya, A., Uzun, S., (2016) "Farklı ışık kaynağı ve renk uygulamalarının patlıcan (*Solanum melongena* L.) fidelerinin büyüme parametreleri üzerine etkileri", *Selçuk Tarım Bilimleri Dergisi*, 3(2), 238-247.
- Demirtaş, M.N., ve Kırnak H., (2009) "Kayısıda farklı sulama yöntemleri ve aralıklarının farklı fizyolojik parametrelere etkisi" *YYÜ TAR. BİL. DERG.*, 19(2), 79-83.
- Dursun, B., (2005) "Dâhili Ortamlarda Aydınlatma Hesaplama Tekniklerinin Analizi Ve Bir Uygulama Örneği", Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Dupuis, R. D. ve Krames, M. R. (2008) "History, development and applications of high-brightness visible light-emitting diodes", *Journal Of Lightwave Technology*, 26(9), 1154-1171.
- Efe, H., (2014) "Katı ortam kültüründe kıvrıkcık yapraklı salata yetiştiriciliğinde ilave LED aydınlatma uygulamalarının verim, kalite ve bitki gelişimine etkileri", Yüksek Lisans Tezi, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tokat.
- Eklund, N.H., Boyce, P.R., ve Simpson, S.N., (1999) "Lighting and sustained performance", *Illuminating Engineering Society of North America 1999 Annual Conference*, New York, 501-524.
- Erdem, S., (2007) "Aydınlatma mühendisliğinde ileri yöntemlerle çözüm teknikleri", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 19-24.
- Eriş, A., (2007) "Bahçe bitkileri fizyolojisi", *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları:11*, Ders Kitabı, Bursa, 152.
- Erol, Y., Canbolat T., (2011) "Aydınlatma sektöründe yeni nesil power LED teknolojileri", *TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, 239-241.

- Ertem, F., (2016) “Aydınlatmanın niceliği-niteliği üzerine: bilişim çağında yeni çalışma mekanları haline gelen kafelerde aydınlatma kalitesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Beykent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 11-19.
- Eser, O., (2013) “Aydınlatma sistemlerinde enerji verimliliğinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 11-32.
- Gan, F., Grabosky, P., (2000) “Improved Street lighting and crime reduction”, **The Promise Of Crime Prevention 2nd**, Australian Institute of Criminology, 1326-6006, 55-59.
- Gençoğlu, M.T., ve Özbay, E., (2007) “Aydınlatmada enerji verimliliği yöntemleri” **XII. Elektrik, Elektronik, Bilgisayar, Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Kongresi**, Eskişehir.
- Gençoğlu, M.T., (2005) “İç aydınlatmada enerji tasarrufu”, **III. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu**, Ankara, 141-150.
- Griffith M, Ala P, Yang DS, Hon WC, Moffatt BA., (1992) “Antifreeze protein produced endogenously in winter rye leaves.”, **Plant Physiol**, 100(2), 593-596.
- Gordon, G., (2003) “Interior lighting for designers fourth edition”, **John Wiley & Sons, Inc.** Canada, 25-46,81-89.
- Göçmen, E., (2014) “Aydınlatma aygıtlarının enerji verimliliği ve güç kalitesine etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, **Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kocaeli, 1-2.
- Gökmen, S., (2007) “Genel ekoloji”, **Nobel Yayın Dağıtım**, 1. Basım, Ankara, 40-43, 46-47.
- Gültekin, I., (2013) “Işık yayan diyotların (LED) elektronik aygıt parametrelerine çalışma sıcaklığı ve akımının etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Muğla, 10-16.
- Gündüz, N., (2012) “Led ışık kaynaklı enerji verimli endüstriyel aydınlatma armatürü optik tasarımı”, **İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü**, İstanbul, 11-21.
- Gürbüz, Y., (2012) “Güç faktörü düzeltmeli güç LED sürücü tasarımı ve gerçekleştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya, 13-15, 27.
- Hay, R.K.M., Walker, A.J., (1989) “An Introduction to Do Physiology of Crop Yield”, **Longman Scientific and Technical**, England.
- Helms, R.N., Belcher, M.C., (1991) “Lighting for energy-efficient luminous environments”, **Prentice Hall**, 112-115.
- Hernandez, R., Eguchi, T., Deveci, M., ve Kubota, C., (2016) “Tomato seedling physiological responses under different percentages of blue and red photon flux

ratios using LEDs and cool white fluorescent lamps”, *Scientia Horticulturae*, 213, 270-280.

Islam, M.A., Kuwar, G., Clarke, J.L., Blystad, D., Gislerod, H.R., Olsen J.E., Torre, S., (2012) “Artificial light from light emitting diodes (LEDs) with a high portion of blue Light result in shorter poinsettias compared to high pressure sodium (HPS) lamps”, *Scientia Horticulturae*, 136–143.

İmal, N., (2007) “Stadyum aydınlatma projelerinin parametrik benzetimi ile tasarımı ve örnek uygulamalar”, Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 30-39.

İmal, N., Uyaroğlu Y., (2007) “Deşarj lambalarında balast seçiminin önemi ve cıva buharlı lambalardaki etkileri”, *IV. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, İzmir*, 1-3.

İmal, N., Bektaş, N., (2014) “Deşarj lambalarında lamba-balast uyumluluğunun regresyon yaklaşımı kullanılarak analizi”, *Eleco 2014 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu*, Bursa, 13-18.

İmal, N., Bektaş, N., (2014) “Deşarj lambalarında lamba-balast uyumluluğunun sayısal yöntemlerle analizi”, *Eleco 2014 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu*, Bursa, 13-18.

İmert, H., (2008) “İleri aydınlatma tekniklerinin bir mekân örneği üzerinde irdelenmesi ve tasarıma etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 10-24,38-46.

Karakurt, H., ve Aslantaş, R., (2008) “Bitki renk maddelerinin (pigmentler) oluşum ve değişim fizyolojisi”, *Alatarım*, 7(2), 34-41.

Karamanlı, E., (2016) “Dış mekân aydınlatma elemanlarının Antalya kent merkezi örneğinde peyzaj mimarlığı açısından incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 8-11.

Kasım R., ve Kasım M. U., (2016) “Işık yayan diyot (LED) teknolojisinin meyve ve sebzelerin hasat sonrası dönemindeki uygulamaları”, *VII. Bahçe Ürünlerinde Muhafaza ve Pazarlama Sempozyumu*, 86-93.

Kılıçaslan, U. G., (2011) “Aydınlatma tasarımı kriterlerinin hastane mekanlarında irdelenmesi”, *Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 50-53.

Kılınç, M., ve Kutbay, G., (2008) “Bitki ekolojisi”, *Palme Yayıncılık*, 2. Baskı, Ankara, 21-23.

Koç, C., Vatandaş, M., Koç, A.B. (2009) “LED aydınlatma teknolojisi ve tarımda kullanımı”, *25. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi*, Isparta, 153-158.

- Köksal N., İncesu M., ve Teke A. (2013) “LED aydınlatma sisteminin domates bitkisinin gelişimi üzerine etkileri”, *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 6(2), 71-75.
- Kwok, K.F., Cheng, K.W.E., Ping, D., (2006) “General study for design the HID ballasts”, *2nd International Conference on Power Electronics Systems and Applications*, 182-184.
- Lin K., Huang M., Huang W., Hsu M., Yang Z., Yang C., (2013) “The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. capitata)”, *Scientia Horticulturae*, 150, 86–91.
- Macro Power Engineering, “Reactor-ignitor or constant wattage”, 830-850 Princes Hwy Springvale 3174, 1. www.macrogroups.com Erişim Tarihi:20.05.2018
- Malman, D., (2001) “Lighting for libraries”, *Architectural Lighting Design*, 3-8.
- Matsuda, O., Yaguch, T., (1995) “Filling composition for incandescent lamp and incandescent lamp containing the same and its use”, *United States Patent*, 5.432,408, 1-8.
- McCree, K.J. (1973) “A Rational Approach to Light Measurements in Plant Ecology” *Current Advances in Plant Science*, 3(4): 39-43.
- MEGEP, (2007) “Elektrik elektronik teknolojisi iç aydınlatma tesisatları”, *Milli Eğitim Bakanlığı*, Ankara, 79-87.
- Nakamura, S., and Chichibu, S.F., (2000) “Introduction to nitride semiconductor blue lasers and Light emitting diodes”, *CRC*, Washington, 7-9.
- Osma, E., (2009) “İstanbul’da yetişen bazı sebzelerde ağır metal birikiminin tespiti”, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 62-63.
- Özdemir, N., (2011) “Türkiye’de elektriğin tarihsel gelişimi (1930-1938)”, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Türk İnkılap Tarihi Enstitüsü*, Ankara, 12-21.
- Özdemir, N., (2016) “İmparatorluktan Cumhuriyete Türkiye’de elektriğin tarihsel gelişimi (1850-1938)”, *Osmanlı Medeniyeti Araştırmaları Dergisi*, Cilt 2, Sayı 3, 18-32.
- Özdil, İ., (2015) “Otomotiv aydınlatma sistemlerinde kullanılan LED’li elektronik devre kartlarının hesaplamalı ısıl analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 33-41.
- Özkaya, M., (2004) “Aydınlatma Tekniği”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 1-7,18-45,115-155.
- Özkaya, M., ve Tüfekçi, T., (2011) “Aydınlatma Tekniği”, *Birsen Yayınevi*, 1. Baskı İstanbul, 102-117.

- Özkum E., (2011) “Doğal ve yapay aydınlatmanın insan psikolojisi üzerindeki etkileri” Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü*, İstanbul, 4-11.
- Öztürk, B., (2011) “Gerilimdeki dalgalanmaların aydınlatma elemanlarının renk sıcaklığına etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 7-23,32-36.
- Padem H., Özdamar, H., (2002) “Sebze büyüme ve gelişiminde fotoreseptörler” *Derim* 9(2), 1-8.
- Pelsan, “Işık nedir hakkında teknik bilgiler”, <http://www.pelsan.com.tr/tr-TR/isik-nedir/26108> Erişim tarihi:12.2.2018.
- Porra R.J., Thompson W.A., Kriedemann P.E., (1989) “Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy”, *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, Volume 975, Issue 3, 384-394.
- Ptushenko, V.V., Avercheva, O.V., Bassarskaya, E.M., Berkovich, Y.A., Erokhin, A.N., Smolyanina, S.O., Zhigalova, T.V., (2015) “Possible reasons of a decline in Growth of Chinese cabbage under a combined narrowband red and blue light in comparison with illumination by high-pressure sodium lamp”, *Scientia Horticulturae* 194, 267–277.
- Salman, B., (2008) “Elektrik sektöründe yeniden yapılanma ve özelleştirme” *Memleket Siyaset Yönetimi*, 3(6), 188-208.
- Simonetti, D.S.L., Co, M.A., Resende, C.Z., Almeida, P.C.A., Vieira, J.L.F., (2002) “Microcontrolled electronic gear for low wattage Metal Halide (MH) and High-Pressure Sodium (HPS) lamps”, *IAS Annual Meeting (IEEE Industry Applications Society)*, 1863-1868.
- Sirel, Ş., (1992) “Aydınlığın niteliği”, *YFU Yayınları*, İstanbul, 2-4.
- Sirel, S., (1997) “Müzelerde ve bürolarda aydınlatma”, *YFU Yayınları*, İstanbul, 4-7.
- Sumper, A., Baggini, A., (2012) “Electrical energy efficiency technologies and applications”, *Wiley*, United Kingdom, 239-241.
- Şahin, M., Büyüktümtürk, F., Oğuz, Y., (2014) “Technical and economical compare semi direct and semi indirect lighting”, *LightWorld, Lighting Industry*, 27, 146-170.
- Şenol R., Kılıç S., Taşdelen K. (2016) “Pulse timing control for LED plant growth unit and effects on carnation”, *Computers and Electronics in Agriculture* 123, 125–134.
- Taiz, L., Zeiger, E., (2008) “Bitki fizyolojisi”, *Palme Yayıncılık*, Ankara.

- Takei, Y., (2009) “Energy saving lighting efficiency technologies”, *Science and Technology*, 32, 59-70.
- Taylor F., Alma E., (2000) “Illumination fundamentals”, *Light Research Center*, New York, 5, 22-35.
- Türkoğlu, A.K., (2009) “Türk sektöründeki izlenebilir standart optik test ve ölçümlerin uluslararası yeri”, *TMMOB Makine Mühendisleri Odası III. Ulusal Tıbbi Cihazlar İmalatı Sanayi Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, Ankara, 199-203.
- Türköz, M.S., (2009) “Elektronik”, Lord Matbaası, *Birsen Yayınevi*, 79-80,109-110.
- United States Environmental Protection Agency, (1997) “Lighting Fundamentals”, *U.S. EPA Green Lights Program*, EPA 430-B-95-007, 3-12.
- Uyanık, M., Sarıbaş, N., (2003) “Aydınlatmada enerji verimliliği ve balast ilişkisi”, *II. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi*, Diyarbakır, 1-5.
- Uysal Ö. (2011) “Tarımsal Aydınlatmada LED Işık Kaynaklarının Kullanım Olanakları”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta.
- Ünver, R., (2000) “Aydınlatma ve dini yapılar”, *Tasarım Dergisi*, İstanbul, 102-142.
- Ünver, R., (1998) “Renk algılamada boyut etkisi”, *II. Aydınlatma Kongresi Bildirileri*, İstanbul, 27.
- Vatandaş, M., Koç, A.B., Koç, C., ve Uysal, Ö., (2010) “Bitkisel üretimde ışık ölçümü”, *26. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi*, Hatay, 393-399.
- Yağcıoğlu, A. (1986) “Tarımsal Elektrifikasyon.” *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, İzmir, 488.
- Yeh N., ve Chung J., (2009) “High-brightness LEDs—Energy efficient lighting sources and their potential in indoor plant cultivation”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(8), 2175-2180.
- Yener, K.A., (2007) “Binalarda günışığından yararlanma yöntemleri: çağdaş teknikler”, *VIII. Ulusal Tesisat Mühendisli Kongresi, Sempozyum Bildirisi*, İzmir, 231-241.
- Yorio, N.C., Goins, G.D, Kagie, H.R., Wheeler, R.M., Sager, J.C., (2001) “Improving Spinach, Radish and Lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation”, *HortScience*, 36(2), 380-383.
- Zhu, XG, Long, S.P., Ort, D.R. (2008) “What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass?”, *Current Opinion in Biotechnology*. 19(2), 153-159.



EKLER

Ek-1. Tez Çalışması Süresince Yapılan Akademik Çalışmalar

Kılıç, E., Şahin, M., Akaltun, Y., Oğuz, Y., ‘‘Examination of environment and Energy concepts under the heading of solar energy systems’’, **2nd. International Conference on Civil and Environmental Engineering (ICOCEE)**, Nevşehir, 8-10 Mayıs 2017

Şahin, M., Akaltun, Y., Kılıç, E., ‘‘Investigation of external lighting systems environmental and economically under light pollution heading’’, **2nd. International Conference on Civil and Environmental Engineering (ICOCEE)**, Nevşehir, 8-10 Mayıs 2017



ÖZGEÇMİŞ

1991 yılında Erzincan'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Erzincan'da tamamladı. Lisans eğitimine 2009 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünde başladı ve 2014 yılında mezun oldu. 2009-2010 eğitim-öğretim yılları arasında Sakarya Üniversitesinde İngilizce hazırlık eğitimi aldı. 2015-2017 yılları arasında özel bir şirkette Elektrik Elektronik Mühendisi olarak görev yaptı. 2018 yılı itibariyle SMM yetki belgesini alarak görev yapmaktadır. 2016 yılında Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Tezli Yüksek Lisans eğitimine başladı.

