

T.C.
ERZİNCAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI RENK SICAKLIĞINA SAHİP YARIİLETKEN TABANLI AYDINLATMA
SİSTEMLERİNİN *TRITICUM AESTIVUM* L. (BUĞDAY) VE *HORDEUM VULGARE*
L. (ARPA) ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Zehra KARAGÖZ KÜÇÜK

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ŞAHİN

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

ERZİNCAN

2018

Her Hakkı Saklıdır.

Kabul ve Onay Sayfası

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ŞAHİN danışmanlığında, Zehra KARAGÖZ KÜÇÜK tarafından hazırlanan bu çalışma 13/04/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

Başkan :Prof. Dr. Yüksel OĞUZ

İmza:

Danışman :Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ŞAHİN

İmza:

Eş Danışman :Dr. Öğr Üyesi Etem OSMA

İmza:

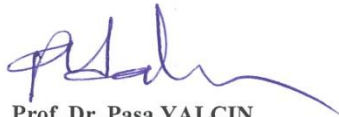
Üye :Doç. Dr. Memet Ali YILDIRIM

İmza:

Üye :Dr. Öğr Üyesi Naim Süleyman TINGİ

İmza:

Yukarıdaki sonuç Enstitü Yönetim Kurulunun 11./05/2018 tarih ve 18./...7..... 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 Etiğe Uygunluk Sayfası

“Farklı Renk Sıcaklığına Sahip Yarıiletken Tabanlı Aydınlatma Sistemlerinin *Triticum Aestivum* L. (Buğday) ve *Hordeum Vulgare* L. (Arpa) Üzerindeki Etkileri” isimli “Yüksek Lisans” tezim tarafımca 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. 11.04.2018



Zehra KARAGÖZ KÜÇÜK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI RENK SICAKLIĞINA SAHİP YARIİLETKEN TABANLI AYDINLATMA SİSTEMLERİNİN *TRITICUM AESTIVUM* L. (BUĞDAY) VE *HORDEUM VULGARE* L. (ARPA) ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Zehra KARAGÖZ KÜÇÜK

Erzincan Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ŞAHİN

LED'ler (Light Emiting Diode; Işık Yayan Diyot), yeteri kadar doğru gerilim uygulandığında elektrik enerjisini ışık enerjisine dönüştüren özel katkılı pn diyotlardır. LED'lerin hayatımızın hemen her alanında yaygın olarak kullanılmasına imkan sağlayan birçok etmenden birisi de farklı renk sıcaklığına sahip olmalarıdır. CCT (Correlated Color Temperature; İlişikli Renk Sıcaklığı) diye adlandırılan renk sıcaklığı °K (Kelvin) cinsinden ifade edilmektedir.

Bu çalışmada, laboratuvar ortamında farklı CCT değerlerine (2000, 3000, 6000 °K) sahip LED ışıkları altında buğday (*Triticum aestivum* L.) ve arpa (*Hordeum vulgare* L.) bitkileri yetiştirilmiştir. Yetiştirilen bitkilerin boy ölçüleri, ağırlık değerleri, klorofil, karoten, elektrolit sızıntı ve topraktan Mg (magnezyum) alımı miktarları belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre, soğuk renk sıcaklığına (6000 °K) sahip LED ışık altında yetişen bitkilerin ölçülen parametrelerinin diğer ışıklar altında yetişen bitkilere göre daha tutarlı ve bitki için olması gereken optimum değerlere yakın olduğu görülmüştür.

2018, 74 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Arpa (*Hordeum vulgare* L.), Buğday (*Triticum aestivum* L.), Işık Yayan Diyot, İlişikli Renk Sıcaklığı

ABSTRACT

Master Thesis

THE EFFECTS OF SEMICONDUCTOR-BASED LIGHTING SYSTEMS WITH DIFFERENT COLOR TEMPERATURE ON *TRITICUM AESTIVUM* L. (WHEAT) AND *HORDEUM VULGARE* L. (BARLEY)

Zehra KARAGÖZ KÜÇÜK

Erzincan University
Institute of Science and Technology
Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ŞAHİN

LEDs (Light Emitting Diode) are special doped pn diodes that convert electrical energy into light energy when the DC voltage is applied. One of the many things that allows LEDs to be widely used in almost every area of our life is that they have a different color temperature. The color temperature called CCT (Correlated Color Temperature) is expressed in °K (Kelvin).

In this study, wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) plants were grown under the LED lights with different CCT values (2000, 3000, 6000 °K) in the laboratory environment. Height measurements, weights, chlorophyll, carotene electrolyte leaks and Mg (magnesium) intake from soil were determined for the grown plants. According to the obtained data, it is seen that the measured parameters of the plants growing under the LED light with the cool color temperature (6000 °K) are closer to the optimum values which should be for the plant and more consistent with the plants grown under the other lights.

2018, 74 Pages

Keywords: Correlated Color Temperature, Barley (*Hordeum vulgare* L.), Light Emitting Diode, Wheat (*Triticum aestivum* L.)

TEŞEKKÜR

“Farklı Renk Sıcaklığına Sahip Yarıiletken Tabanlı Aydınlatma Sistemlerinin *Triticum Aestivum* L. (Buğday) ve *Hordeum vulgare* L. (Arpa) Üzerindeki Etkileri” adlı bu çalışma, Erzincan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince desteklenmiştir (Proje numarası: FBA-2017-423).

Yüksek lisans eğitimin ve çalışmalarım boyunca hiçbir desteğini esirgemeyen Sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ŞAHİN’e, çalışmalarım boyunca her konuda destek olan Sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Etem OSMA’ya ve çalışma arkadaşım Müjgan ELVEREN’e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her zaman yanımda olan aileme ve bu süreçte bana her konuda destek olup yol gösteren sevgili eşim Mesut KÜÇÜK’e teşekkürü borç bilirim.

Zehra KARAGÖZ KÜÇÜK

Nisan, 2018

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
SİMGELER ve KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
3. KURAMSAL TEMELLER.....	8
3.1. Aydınlatma	8
3.1.1. Aydınlatmanın niteliği ve niceliği.....	8
3.1.1.1. Niceliği	8
3.1.1.2. Niteliği.....	9
3.1.2. Aydınlatma türleri	9
3.1.2.1. Doğal aydınlatma	9
3.1.2.2. Yapay aydınlatma.....	9
3.1.2.3. Bütünleşik aydınlatma.....	10
3.1.3. Işığın doğrultusuna göre aydınlatma türleri	10
3.1.3.1. Dolaysız (direkt) aydınlatma.....	10
3.1.3.2. Dolaylı (endirekt) aydınlatma	10
3.1.3.3. Karma (yayınık) aydınlatma.....	11
3.1.3.4. Yarı direkt aydınlatma.....	11
3.1.3.5. Yarı endirekt aydınlatma	11
3.2. Fotometri ve Fotometrik Büyüklükler.....	11
3.2.1. Fotometrik büyüklükler.....	12
3.2.1.1. Işık.....	12

3.2.1.2.	Işık şiddeti	12
3.2.1.3.	Işık akısı	13
3.2.1.4.	Aydınlık düzeyi	13
3.2.1.5.	Aydınlık şiddeti (parıltı, lüminans)	13
3.3.	Fotometrik Yasalar	13
3.3.1.	Kosinüs yasası	13
3.3.2.	Uzaklıkların karesiyle ters orantı yasası	14
3.3.3.	Lambert yasası	15
3.3.4.	Uzay açısı iz düşüm yasası	15
3.4.	Fizyolojik-Optik Esaslar	15
3.4.1.	Gözün görmesi	15
3.4.2.	Gözün eşik değerleri	17
3.4.3.	Adaptasyon	18
3.4.4.	Kontrast duyarlılığı	18
3.4.5.	Görme hızı ve kritik titreme frekansı	18
3.4.6.	Kamaşma	18
3.4.7.	Gölge ve özgülge	19
3.4.8.	Renk	19
3.5.	Işık Üretiminin Temelleri	20
3.5.1.	Termik ışık üretimi	20
3.5.2.	Deşarj dayalı ışık üretimi	20
3.5.3.	Elektrolüminesans ışık üretimi	21
3.6.	Lambalar	21
3.6.1.	Akkor flamanlı (enkandesan) lambalar	21
3.6.2.	Deşarj tipi lambalar	22
3.6.2.1.	Civa buharlı deşarj lambalar	22
3.6.2.2.	Sodyum buharlı deşarj lambaları	23
3.6.2.3.	Metal halide lambalar	24
3.6.3.	Flüoresan lambalar	25
3.7.	Yarıiletkenler	26

3.7.1. Katıksız (saf) yarıiletkenler.....	27
3.7.2. Katkılı yarıiletkenler	27
3.7.2.1. n-tipi yarıiletken	28
3.7.2.2. p-tipi yarıiletken	28
3.8. pn eklem	29
3.8.1. pn eklem temeli yapısı	29
3.9. Diyotlar.....	30
3.10. LED'ler.....	31
3.10.1. LED'lerin karakteristik yapıları	32
3.10.1.1. Akım-gerilim karakteristiği.....	32
3.10.1.2. Verim-zaman karakteristiği.....	33
3.10.1.3. Akım-ışık şiddeti karakteristiği.....	34
3.10.1.4. Sıcaklık-ışık şiddeti karakteristiği.....	34
3.10.2. LED'lerde dalga boyu.....	35
3.10.3. LED'lerde renk sıcaklığı	36
3.10.4. LED'lerin özellikleri ve faydaları	37
3.10.5. Genel ve tarımsal amaçlı kullanılan LED lambaların diğer lambalarla kıyaslaması	38
3.11. Işığın Bitkiler Üzerindeki Etkisi.....	39
4. MATERYAL ve YÖNTEM.....	43
4.1. Materyal.....	43
4.2. Yöntem	44
4.2.1. Hücre zarındaki elektrolit sızıntı miktarının belirlenmesi	47
4.2.2. Klorofil miktarı tayini	48
4.2.3. Element alımı tayini	49
4.2.4. İstatistiksel analizler.....	50
5. ARAŞTIRMA BULGULARI	51
5.1. Arpa ve Buğday Bitkisinin Boy Verileri	51
5.2. Arpa ve Buğday Bitkisinin Ağırlık Verileri	51
5.3. Buğday ve Arpa Bitkileri Klorofil ve Karoten Miktarları.....	52
5.4. Buğday ve Arpa Bitkileri Elektrolit Sızıntı Miktarları.....	55

5.5. Buğday ve Arpa Bitkilerinin Toprakdan Mg Alımı Miktarları	56
6. TARTIŞMA	58
7. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	61
KAYNAKLAR	63
EKLER.....	70
7.1. Elde Edilen Verilerin İstatistiksel Olarak Karşılaştırılması	71
7.1.1. Buğday	71
7.1.2. Arpa.....	73
7.2. Tez Çalışması Süresince Yapılan Akademik Çalışmalar	74
ÖZGEÇMİŞ	75



ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 LED Lamba Mekanizması	1
Şekil 1.2 Beyaz güç LED'lerin renk sıcaklığı aralıkları	2
Şekil 3.1 I ile E arasındaki ilişki (uzaklıkların karesi ile ters orantı yasasına göre)	14
Şekil 3.2 İletkenlik derecesine göre değişen bant enerjileri (a) iletken, (b) yarıiletken, (c) yalıtkan	26
Şekil 3.3 n-tipi malzemede antimon katkısı	28
Şekil 3.4 p-tipi malzemede bor katkısı	29
Şekil 3.5 pn eklem oluşumu	30
Şekil 3.6 İdeal diyot karakteristikleri	31
Şekil 3.7 pn eklem bölgesinden foton yayılması.....	32
Şekil 3.8 LED'in akım gerilim karakteristiği	33
Şekil 3.9 LED'in verim zaman karakteristiği.....	33
Şekil 3.10 LED'in akım-ışık şiddeti karakteristiği.....	34
Şekil 3.11 LED'in sıcaklıkla ışık akısı değişim grafiği	35
Şekil 3.12 Aydınlatma gelişimi	39
Şekil 3.13 Klorofilin yapısı	41
Şekil 3.14 Klorofil ve karotenin absorpsiyon spektrumu.....	42
Şekil 4.1 Spektrofotometre cihazı	44
Şekil 4.2 Armatür montajı ve ölçümleri	44
Şekil 4.3 Kasalı şerit LED.....	45
Şekil 4.4 Armatürlerin beslemesi ve güç kaynağı	45
Şekil 4.5 Multimetre ile armatürlerin akım ölçümü	45
Şekil 4.6 Ekim yapılmış saksılar	46
Şekil 4.7 Farklı renk sıcaklığı altında buğday bitkileri	47
Şekil 4.8 Farklı renk sıcaklığı altında arpa bitkileri	47
Şekil 4.9 Elektrolit sızıntı ölçümü.....	48
Şekil 4.10 Klorofil miktarı tayini	49
Şekil 4.11 Element alımı tayini için toz haline getirme işlemi	50
Şekil 5.1 Buğday ve arpa bitkilerinin boy verileri grafiği.....	51

Şekil 5.2 Buğday ve arpa bitkilerinin ağırlık verileri grafiği	52
Şekil 5.3 Buğday ve arpa bitkilerinin klorofil a verileri grafiği	52
Şekil 5.4 Buğday ve arpa bitkilerinin klorofil b verileri grafiği.....	53
Şekil 5.5 Buğday ve arpa bitkilerinin klorofil a+b verileri grafiği.....	54
Şekil 5.6 Buğday ve arpa bitkilerinin karoten verileri grafiği.....	55
Şekil 5.7 Buğday ve arpa bitkilerinin elektrolit sızıntı verileri grafiği	56
Şekil 5.8 Buğday ve arpa bitkilerinin topraktan Mg alımı miktarları	57



TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1 LED renklerinin dalga boyları ve kullanılan malzemeler	36
Tablo 3.2 Renk sıcaklığı aralığı	37
Tablo 5.1 Buğday ve arpa değerlerinin anlamlılık durumları	57



SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

cd	Candela
cd/m^2	Candela/metrekare
E	Aydınlık düzeyi (lx)
I_f	LED akımı
L	Parıltı (cd/m^2)
lm	Lümen
lm/m^2	Lümen/metrekare
lx	Lüks
$^{\circ}K$	Kelvin
V_f	LED gerilimi
W/m^2	Weber/metrekare
λ	Dalga boyu
ϕ	Işık akısı (lm)
I	Işık şiddeti (cd)

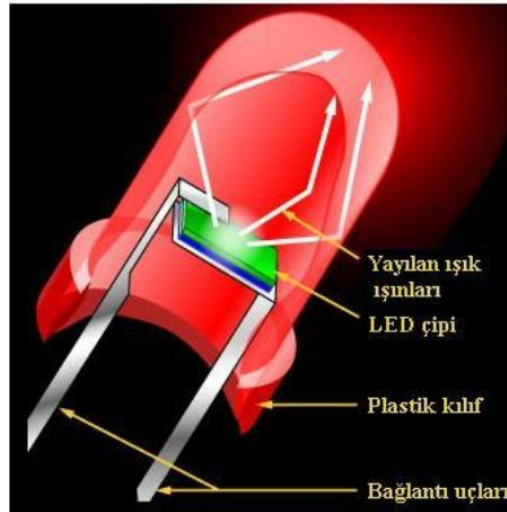
Kısaltmalar

A	Amper
CCT	Correlated Color Temperature (İlişkili Renk Sıcaklığı)
CIE	Commission Internationale'de L'Eclairage (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu)
cm	Santimetre
CRI	Color-Rending Index(Renksel Geriverim İndeksi)
DC	Direct Current (Doğru Akım)
g	Gram
IR	İnfrared (Kızılötesi)
LED	Light Emiting Diode (Işık Yayan Diyot)
mm	Milimetre
nm	Nanometre
OLED	Organik LED
PAR	Photosynthetically Active Radiation (Fotosentezde Aktif Işıma)
PWM	Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)
SI	Système International d'Unités (Uluslararası Birimler Sistemi)
UV	Ultraviole

1. GİRİŞ

Enerji verimliliği konusu her geçen gün daha da önem kazanırken, aydınlatmada Işık Yayan Diyot (Light Emitting Diode, LED) kaynaklarının kullanımı aydınlatmada enerji verimliliğini sağlamaya imkan vermektedir. LED'lerin teknolojinde meydana gelen gelişmelerle birlikte var olan üstün özelliklerinin yanında sahip oldukları renk sıcaklığı özelliği de kullanım alanını genişletmektedir.

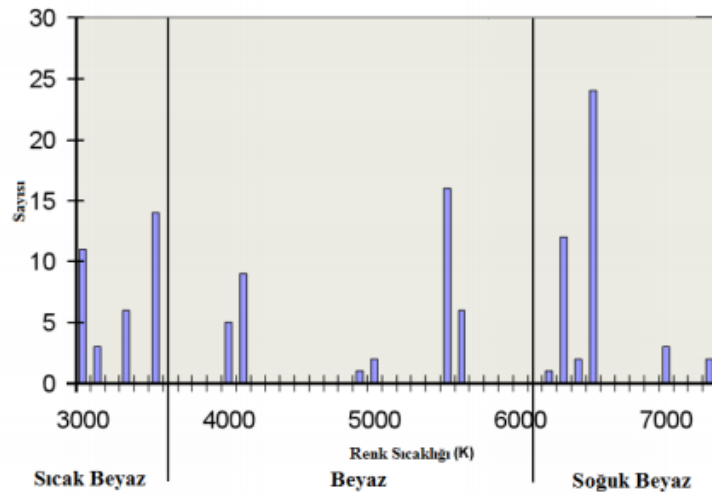
LED, maddenin n-tipi ve p-tipi diye isimlendirilen, birtakım işlemlerden geçirilmiş elemanlarından oluşmaktadır. LED'ler, normalde yarıiletken bir diyottur, ancak diğer diyotlardan farkları; p-n eklem bölgelerinde yayımladıkları fotonlar aracılığıyla ışık vermeleridir (Dupuis ve Krames, 2008). LED'ler ortalama olarak 10 mA ve 1.5 V değerlerinden itibaren iletme geçerek ışık yaymaya başlarlar. Ayrıca LED'lerin üzerlerinden akmalarına izin verilen akım miktarı 10-30 mA civarındadır. Bu değer, kullanılan LED'in boyutuna ve rengine göre farklılık gösterebilir (Akbulut, 2010). LED'ler katı hal tabanlı malzemeler olmaları sebebiyle dayanıklı ve küçüktürler, bununla birlikte diğer kaynaklara nazaran daha uzun lamba ömrüne (ortalama 100.000 saat ömür) sahiptirler. (Arik vd., 2010). LED'ler elektromanyetik tayfın çeşitli dalga boylarında ve yüksek parlaklıkta ışık verebilmektedirler. Ayrıca yüksek verim ve düşük enerji tüketimi özelliğine sahiptirler (Çağlayan, 2013).



Şekil 1.1 LED Lamba Mekanizması (Ertem, 2016)

Mutlak sıcaklık olan 0°K (Sıfır Kelvin)'in üzerinde bir sıcaklığa sahip olan cisimler etrafına bir ışınım yayarlar. Ancak çevredeki cisimler ideal olmadıkları için ürettikleri ışınımın belli bir kısmı yüzeylerinde ve malzeme içerisinde bazı sebeplerle kaybolur ve sadece belirli bir miktarı çevreye yayımlanır. Teorikte ideale çok yakın ışınım kaynakları 'siyah cisim' diye adlandırılır. Belli bir sıcaklıktaki siyah cismin ışınım rengiyle aynı koordinatlardaki bir ışık kaynağının sıcaklığı, 'Renk Sıcaklığı' olarak tanımlanmaktadır. Fakat flüoresan lambalar gibi renk değerleri siyah cisim koordinatlarına denk gelmeyen lambalar için 'İlişkili Renk Sıcaklığı' (Correlated Color Temperature, CCT) ifadesi kullanılır. Bu tür ışık kaynaklarının CCT değerleri, aynı gözlem ve parlaklık şartlarında, kendilerinininkine en yakın rengi veren siyah cisim ışınımının sıcaklığı olarak kabul edilir. (Wyszecki G. ve Stiles, W.S., 1982).

LED'lerin ilişkili renk sıcaklıkları (CCT), 1000 °K ile 6500 °K arası değişim gösteren değerler arasındadır. Bu durum LED'lerin geniş bir kullanım alanına sahip olmasına olanak sağlamaktadır. Bu değerlerin üzerinde CCT değerlerine sahip LED'lerin ışıksal verimi düşmektedir. Beyaz güç LED'lerin renk sıcaklıkları ise 3200-9000 °K arasında değer almaktadır. Beyaz güç LED renkleri **Şekil 1.2**'de gösterildiği gibidir. 3200-3300 °K arası sıcak beyaz, 3500-4500 °K arası doğal beyaz, 5500-6500 °K arası gün ışığı veya saf beyaz ve 6500°K-9000 °K arası ise soğuk beyaz diye nitelendirilir (Perry, 2010).



Şekil 1.2 Beyaz güç LED'lerin renk sıcaklığı aralıkları (Gürbüz, 2012)

Dünyamızdaki en büyük enerji kaynağı olan güneşin batması veya ışınlarının azalması durumlarında yapay aydınlatma söz konusu olmuş ve bu duruma çözüm amaçlı çeşitli teknolojiler geliştirilmiştir. LED tipi aydınlatma araçları da bu doğrultuda meydana gelen teknolojik gelişmelerin bir ürünüdür. Tarımsal üretimde de yapay ışık kaynaklarının kullanım amacı güneş ışığına destek olmak olup, bitkide güneş ışığına karşı oluşan cevabı tetiklemektir.

Işık, bütün canlılar için önemli olduğu gibi bitkiler için de oldukça önemlidir. Bitkiler, yaprak, çiçek ve meyve oluşumu, fotosentez, klorofil oluşumu, anorganik maddelerin organik maddelere dönüşümü ve sürgün gibi olayları gerçekleştirebilmek için ışığa ihtiyaç duymaktadır (Eriş, 2007). Bitki gelişimi için gerekli olan ışığın temel kaynağı güneş olmakla birlikte, günümüzde güneşin yanı sıra yapay ışıklar da kullanılmaktadır (Kim vd., 2004; Ohasi-Kaneko vd., 2007). Güneşten yeryüzüne gelen ışık, farklı dalga boyuna sahip ışıklardan oluşmaktadır. Görünür ışık, ışık spektrumunda yaklaşık 390-760 nm dalga boyları arasındaki bölgede yer almaktadır (Eriş, 2007). Kırmızı-turuncu ışık, dalga boyu (600-700nm) en uzun olan ışık olarak spektrumunda yerini almaktadır (Yang vd., 2012). Bitkilerin fotosentez için kullandıkları ışık ise güneşten yayılan elektromanyetik ışınlar içinde görünür dalga boyunda yer alan fotonların enerjisidir (Zhu vd., 2008).

Fotosentez, ışık dalga boyunun fonksiyonu olan fotokimyasal bir süreçtir. Fotosentez hızını artıran noktalardan birisi de ortama farklı dalga boylu bir ışığın eklenmesidir. Bu durum, yapay aydınlatmanın söz konusu olduğu durumlarda önem arz eden hususlardandır (Yağcıoğlu, 1986). Bitkisel üretimde yapay ışık kaynaklarının kullanım amacı güneş ışığını desteklemek olmasının yanı sıra, güneş ışığı olmayan yetiştirme kabinleri veya dolaplarını aydınlatmaktır (Koç vd., 2009). Bu tip ortamlar ışıkla birlikte diğer tüm çevresel etmenlerin de kontrol altında tutulduğu, özel amaçlı tohumluk ya da bitki üretiminin yapıldığı yerlerdir.

Bitki yetiştirme kabinleri ve odalarında genellikle flüorışıl lambalar kullanılmakta ve bu lambaların aydınlık seviyesi çoğunlukla sabit olup bazılarında kısmen ayarlanabilme özelliği mevcuttur. Öte yandan bu lambalar, sadece soğuk ya da sıcak beyaz ışık verme özelliğinde olup, tayfin görünür bölgesinde ve az bir miktarda da infrared (IR) ile ultraviole (UV) ışınım vermektedirler. LED ışık kaynaklarında morötesinden kızılötesine kadar uzanan geniş bir aralıkta ışınım üretimi olması araştırmacılar için

oldukça iyi olanaklar sunmaktadır. Son yıllarda, özellikle görünür ve morötesi bölgede ışık elde edilmesiyle birlikte bitkisel üretime yönelik araştırma çalışmalarında büyük bir artış görülmektedir (Miyashita vd., 1995; Çağlayan, 2015).

Bu çalışmada, LED kaynaklı yapay ışık enerjisinin tarımsal üretimindeki yeri ve literatürdeki çalışmalardan farklı olarak, LED'lerin CCT özelliğinden yararlanarak, bitkiler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu doğrultuda, laboratuvar ortamında farklı renk sıcaklığına sahip LED armatürlerle aydınlatılan ortamlar oluşturulmuştur. Bu ortamlarda yetiştirilen buğday ve arpa bitkilerinin çeşitli parametre değerleri incelenmiştir. Daha sonraki çalışmalara da ışık tutacak ve yön verecek nitelikte bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bu bilgiler ışığında çalışmanın kaynak özetleri kısmında literatürdeki benzer çalışmalar incelenmiş, kuramsal temeller kısmında aydınlatma, fotometri, ışık üretimi, bitki fizyolojisi ve ışığın bitki fizyolojisi üzerine etkileri hakkında geniş bilgilere yer verilmiştir. Materyal metot bölümünde, oluşturulan laboratuvar düzenekleri ve kullanılan yöntemler hakkında bilgilere yer verilmiştir. Araştırma bulguları kısmında bu ortamlarda yetiştirilen bitkiler üzerinde CCT değerinin fizyolojik etkileri saptanmıştır. Son olarak ise sonuç, tartışma ve öneri kısmında elde edilen veriler irdelenmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Literatürde, LED ışıkların bitki yetiştiriciliği üzerindeki etkilerini inceleyen sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır.

Köksal (2013), çalışmasında, kırmızı-turuncu LED ışığı ile yapılan yapay aydınlatmanın bitki boyu, biomas ağırlığı, çiçek sayısı ve yaprak sayısı bakımından istatistiksel olarak farklılıklar ortaya koyduğunu belirlemiştir.

Sang-Won Lee vd. (2014), çalışmalarında, kırmızı LED lambalar altında yetiştirilen, yaygın olarak kullanılan karabuğday filizlerinde fenolik bileşiklerin seviyelerinin ekimden 9 gün sonra artma eğiliminde olduğu ancak tartary buğday filizlerinde fark olmadığı sonucuna ulaşmışlardır.

Koç (2009), çalışmasında, LED tipi ışık kaynaklarının teknolojik özelliklerini incelemiş, bitkisel ve hayvansal üretim yönünden sahip oldukları özellikler üzerinde durmuştur.

Özkök vd. (2016), çalışmalarında, LED aydınlatmalar ile güvenli bir aydınlatma desteği sağlandığı, fide gelişiminin daha sağlıklı olduğu, bitkilerin gelişimi kontrol altında tutulabildiği, verim ve kalitede artışın sağlanabildiği sonucunu elde etmişlerdir. LED aydınlatmalar ile homojen bir ışınım oluşturulduğu gibi önemli derecede enerji tasarrufu da sağlandığını açıklamışlardır.

Çağlayan (2011), bitki üretimi için LED lambaları ele aldığı çalışmasında LED'lerin geleneksel bitki büyütme lambalarına göre teknolojik üstünlükleri ve farklılıklarını incelemiş, bitki üzerindeki etkilerini tartışmış ve LED'lerin birçok üstün özelliği sayesinde tarımda tercih sebebi olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Bourget ve Morrow (2008)'un çalışmalarında, belirttikleri üzere: LED aydınlatma sistemleri birçok avantaja sahi olmaları nedeniyle katı hal ışık kaynakları, bitki aydınlatma tasarımlarında kullanım için ideal bir ışık kaynağıdır ve daha optimal üretim sağlamak, bitki morfolojisi ve metabolizmasını etkilemek için dalga boylarının bitki fotoreseptörleri ile uyuşmasına izin verirler.

Ming-Chang Wu vd. (2007), bezelye tohumları üzerine yaptıkları çalışmada, karanlıkta ve farklı LED ışık altında 4 gün inkübe edilen fidelerin sap çapında bir farklılık gözlenmemiş ancak LED altında yetişenlerin gövde uzunluğu, yaprak alanı ve fide ağırlığının ışık kalitesinden büyük ölçüde etkilendiği gözlenmiştir.

Çağlayan (2015), bitki yetiştirme odaları üzerine yaptığı çalışmasında, LED'leri geleneksel ışık kaynakları ile kıyaslamış, LED'lerin büyüme odaları ve kabinleri gibi kontrollü bitki büyüme ortamları ve doku kültürü için çok iyi derecede faydalar sağlayabilecek bir ışık kaynağı olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Choi vd. (2015), çalışmalarında, üç farklı dalga boyuna (mavi, kırmızı ve mavi-kırmızı), sahip LED ışığı kullanarak meyvenin kalitesini belirleyen fitokimyasalların üretimini ve olgun çilek bitkilerinin yetiştirme sırasında büyüme özelliklerini incelemeyi amaçlamışlardır. Dalga boylarının çeşitli kombinasyonları şeklinde uygulanan LED ışıkları altında yetişen çilek bitkileri arasında kayda değer farklılıklar gözlemlemişlerdir.

Chen vd. (2017), çalışmalarında, kırmızı ve mavi LED aydınlatmanın farklı aralıklarla uygulanmasının marulun büyüme ve beslenme özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Kırmızı ve mavi LED ışığını alternatif modlarda bitki üzerine uygulamış ve kırmızı-mavi ışık ilişkisini açıklayabilmek için çeşitli yöntemler araştırmışlardır.

Jung vd. (2013), farklı LED ışıkları altında yetiştirilen pirinç yapraklarının (*Oryza sativa* cv. Ilmi) kısa süreli tepkilerinin metabolik profili ve antioksidan aktiviteleri ile korelasyonlarını belirlemeye yönelik çalışmalarında, mavi, yeşil, kırmızı, beyaz LED ve gölge ortamı kullanmışlardır. Farklı renk LED'ler altında ve gölgede yetiştirilen pirinç bitkisindeki birtakım kimyasal değişimleri analiz etmişlerdir.

Yeh ve Chung (2009), çalışmalarında, yüksek parlaklıkta LED'lerin enerji verimli aydınlatma kaynakları olması özelliğinden yararlanarak iç mekan bitki yetiştiriciliğindeki potansiyel etkilerini araştırmışlardır. Enerjinin yükselen maliyetini göz önüne alarak yüksek enerji verimliliği sağlayan LED'lerin, uzay tabanlı bitki araştırma odası veya biyo-üretken yaşam destek sistemleri için birincil ışık kaynağı olduğunu önermişlerdir.

Şenol vd. (2016), LED'le aydınlatılan bitki büyüme ünitelerinin farklı çalışma modlarının karanfil üzerindeki etkisi incelemiştir. Tünel tipi tam otomatik sera ortamında gerçekleştirilen bu çalışmada farklı dalga boylarında LED ışınlarını PWM (Pulse Width Modulation, Darbe Genişlik Modülasyonu) yöntemi kullanılarak farklı modlarda uygulamışlardır. Her bir ışık kombinasyonu altında karanfilin gelişimi, büyümesi ve çiçeklenme aşamalarındaki morfolojik ve fizyolojik değişiklikleri gözlemişler ve sonuçları, bir serada güneş altında yetiştirilen karanfillerle karşılaştırmışlardır.

Xu vd. (2016), bitkiler için ek aydınlatma sistemi olarak LED kullanımı üzerine yaptıkları araştırmada, LED ışık kaynağını kullanarak çeri domatesinin büyüme oranını iyileştirmek için, kırmızı ve mavi (nispi spektral dağılımlı) LED aydınlatma sistemi tasarlamışlardır. Yetişen çeri domateslerinin büyüme durumunu LED ek aydınlatma sistemi olmayan ortamda yetişen çeri domatesleriyle kıyaslamışlardır ve LED ek aydınlatmanın büyüme hızını önemli ölçüde artırdığını gözlemlemişlerdir.

Bu çalışmada ise literatürdeki çalışmalardan farklı olarak CCT değeri 2000-6000 °K arası değişen beyaz LED'le yapılan yapay aydınlatma sistemlerinin bitkiler üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda 2000°K, 3000°K ve 6000°K renk sıcaklığı değerlerine sahip beyaz LED aydınlatma sistemleri tasarlanıp bu sistemler altında yetişen buğday ve arpa bitkisi üzerinde potansiyel etkiler tespit edilmiştir.

3. KURAMSAL TEMELLER

3.1. Aydınlatma

Commission Internationale'de L'Eclairage (CIE: Uluslararası Aydınlatma Komisyonu) tarafından aydınlatma, "Nesnelerin ve çevrenin gerektiği gibi görülmesini sağlamak amacıyla ışık uygulamak" olarak tarif edilmektedir (Özkum, 2011). Aydınlatma, birçok değişkenin göz önünde bulundurularak teknikler ve hesaplamaların uygulandığı, başlı başına öneme sahip olan bir bilim dalıdır (Şahin, 2014).

Bir hacmin tamamında, belirli ölçütler çerçevesinde, talepleri karşılayacak şekilde yapılan aydınlatmaya *genel aydınlatma* denilmektedir. Mekanlarda genel aydınlatmanın yanı sıra çeşitli yönlendirme, farklı aydınlık seviyesi veya vurguya ihtiyaç duyulan kısmi bölgelerin ışıklandırılmasına ise *bölgesel aydınlatma* denir (Manav, 2005a).

İnsanların yanı sıra hayvanlar ve bitkiler için de önemli bir parametre olan aydınlatma, canlılardaki biyolojik ritimler üzerinde büyük etki göstermektedir. Bitkiler göz önüne alındığında, gelişimleri için en önemli parametre olan fotosentezin gerçekleşmesi için temel veri ışıktır. Bu sebepten bitkiler için de aydınlatmanın uygun koşullarda sağlanması gerekmektedir.

3.1.1. Aydınlatmanın niteliği ve niceliği

3.1.1.1. Niceliği

Aydınlatmanın niceliği, bir ortamda var olan aydınlık düzeyi ile ilişkilendirilmektedir. Hacmin kullanım amacına bağlı olarak gerekli olan aydınlık düzeyleri farklılık arz etmektedir. Aydınlığın niceliği (lm/m^2), belli büyüklükteki alana (m^2) düşen ışık akısının (lümen; lm) bu alana bölümü olup, aydınlık düzeyi terimi ile anlatılır. Aydınlik düzeyinin mekanın kullanım amacına, yani eyleme uygun olarak sağlanması gerekir (Şahin, 2014).

3.1.1.2. Niteliği

Aydınlatmanın niteliği gölge, ışığın rengi, aydınlık düzeyinin dağılımı ve renksel geriverimi konularını içeren bir kavramdır. Ortamın aydınlık düzeyinin istenilen değerde olması doğru bir aydınlatma için tek başına yeterli olmamaktadır. Aydınlatmanın ortamın kullanım amacına uygun gerçekleşmesi için görsel ve renksel kriterleri yerine getirmesi gerekir (Şahin, 2014).

Aydınlığın niceliğinin tek boyutlu bir kavram olmasına rağmen aydınlığın niteliği çok boyutlu ve kompleks bir kavramdır. Aydınliğın niteliğinin, görsel algılamaya özellikleri baz alınarak belirlenmesi gerekmektedir. Aydınlık niteliğinin gerekli görme koşullarını sağlaması demek görsel algılamaya konusunun (yani görülmesi gereken nesne ya da nesnelere tamaminin) özelliklerine uygun olması demektir (Sirel, 1992).

3.1.2. Aydınlatma türleri

Işık kaynağına göre aydınlatma 3 temel başlık altında incelenmektedir.

3.1.2.1. Doğal aydınlatma

Doğal aydınlatma; yapıdaki pencere, kapı gibi boş kısımlar aracılığıyla gün ışığı sayesinde yapılmış olan aydınlatma türüne denir. Temel amaç ise bina içinde gün ışığının en iyi şekilde dağıtılması ve gün ışığından en iyi şekilde yararlanılmasıdır (Kocabey, 2008; Şahin, 2014).

3.1.2.2. Yapay aydınlatma

Yapma ışık kaynakları vasıtasıyla üretilen ışığın, görsel konfor gereksinimlerini karşıladığı aydınlatma sistemi olarak tanımlanmaktadır (MEGEP).

Yapay aydınlatma yaygın olarak elektrikli ışık kaynaklarının kullanımıyla elde edilir. Binadaki doğal aydınlatma yetersiz kaldığında veya geceleri yapay aydınlatma kullanılmaktadır. Gündüzleri bazı işyerlerinde, pencereden uzak çalışma derinliğine sahip ofis tabanlı binalarda ve binaların (merdiven, depo, koridor vb.) kapalı hacimlerinde ise yapay aydınlatma tek çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır (Kocabey, 2008).

Yapay aydınlatma aynı zamanda bir alanın oranlarını görünüşte değiştirmek için de kullanılır. Genellikle hollerde ve koridorlarda güçlü ve gölgeli alan oluşturmadan tekdüze bir biçimde yayılan aydınlatma koşullarını sağlamak gerekir (Demirci, 2008). Bu ve benzeri gün ışığının ulaşmadığı alanlarda yapay aydınlatma büyük önem taşımaktadır.

3.1.2.3. Bütünleşik aydınlatma

Gün ışığının, görsel konfor gereksinmelerini karşılamada yetersiz kaldığı durumlarda takviye olarak yapma ışığın kullanıldığı aydınlatma sistemleridir (MEGEP).

Aydınlatma, aydınlatılan yere göre sınıflandırıldığında, iki türe ayrılmıştır.

- İç Aydınlatma: Dış çevreden çeşitli yapısal öğelerle ayrılmış, iç mekânlarda yapılan aydınlatma sistemidir.
- Dış Aydınlatma: Bina dışında yer alan çeşitli ölçekteki yapma çevrenin aydınlatma sistemidir (Şahin, 2014).

3.1.3. Işığın doğrultusuna göre aydınlatma türleri

3.1.3.1. Dolaysız (direkt) aydınlatma

Direkt aydınlatmada ışık kaynakları doğrudan aydınlatılması istenilen bölgeye yöneltilmiştir. Genel olarak çalışma düzeyinin aydınlatıldığı diğer bölgelerin çok önemsenmediği aydınlatma şeklidir. Direkt aydınlatmada mobilyalar, çalışma düzeyi ve döşeme parlıtları yüksek, tavan parlıtları düşüktür. Işık geniş veya dar açılı olarak yönlendirilebilir. Bina Enerji Performansı Referans Bina Belirleme Yöntemi'nde ele alınan hacimlerin aydınlatma sistemi, direkt aydınlatma olarak kabul edilmiştir. Direkt aydınlatmada istenmeyen durum; gölgeye, kamaşmaya ve gereksiz yansımalara neden olmasıdır (Şener, 2011; Akan, 2005).

3.1.3.2. Dolaylı (endirekt) aydınlatma

Aydınlatma işleminde ağırlığın tavana verildiği aydınlatma sistemidir. Aydınlatma armatürü doğrudan yukarıya ışık verir. İnsan gözü aydınlıktan ziyade parlıtlıyı algılar. Endirekt aydınlatmada da duvarlar ve tavanlar daha çok parlaklık kazandığı için,

insanlar, direkt aydınlatma yapılmış aynı aydınlatma düzeyinde olan bir mekandan daha çok aydınlık düzeyi algırlar. Fakat endirekt aydınlatmanın maliyeti direkt aydınlatmadan daha yüksektir (Şener, 2011).

3.1.3.3. Karma (yayınık) aydınlatma

Direkt ve endirekt aydınlatmanın birlikte sunulduğu sistem olarak tanımlanabilir. Bu aydınlatmada, hem yukarı doğru hem de aşağı doğru ışık yayan ve tavana asılan armatürler kullanılır. Bu da hem direkt aydınlatmanın hem de endirekt aydınlatmanın bir arada kullanıldığı bir aydınlatma sağlar (Şener, 2011).

3.1.3.4. Yarı direkt aydınlatma

Kaynaktan çıkan ışığın dolaysız aydınlatmaya nazaran daha büyük bir kısmı (%10-%40) yüzeylerden yansiyarak çalışma düzlemine gelir. Bunun sonucunda dolaysız aydınlatma modellerine göre daha yayınık bir aydınlatma elde edilir. Aynı zamanda dolaylı aydınlatmanın bazı etkileri, aygıttan çıkan ışık akısının bir kısmının yüzeylerden yansiyarak çalışma düzlemine ulaşmasıyla yumuşatılmış olur (Ünal, 2009).

3.1.3.5. Yarı endirekt aydınlatma

Yarı dolaylı aydınlatma, aygıttan çıkan ışık akısının %10-40 oranında doğrudan çalışma alanına, %60-90 oranında tavana yollayan aydınlatma biçimidir. Bu tür aydınlatma da, çalışma alanına yeterli miktarda, konforsuzluk yaratmayacak şekilde ışık akısı düşerken tavandan yansıyan ışık, gölgelerin yumuşak ve saydam olmasını sağlar. Ayaklı lambaderler, alt ağzı dar abajurlar, opal camlı aplikler ve ışık geçiren kumaştan yapılmış ayaklı lambalar yarı dolaylı aydınlatma sağlayan aygıtlara örnek sayılırlar (Ulaş, 2002).

3.2. Fotometri ve Fotometrik Büyüklükler

Fotometri kavramı Türkçeye tercüme edildiğinde “ışık ölçme” şeklinde çevrilir. Genellikle ışıkla ilgili olan fotometrik ölçmeler, laboratuvar ortamında yapılan ölçmelerdir. Bu ölçmeler için genellikle kullanılan iki aygıt lüksmetre ve ışıklık ölçerdir (luminansmetre) (Sirel, 2004).

Ölçme konularını kısaca maddeleyecek olursak;

- Işık Şiddeti (Luminous Intensity) Ölçümleri,
- Işık Akısı (Luminous Flux) Ölçümleri,
- Aydınlanma Enerjisi (Luminous Energy) Ölçümleri,
- Işık Akısı Yoğunluğu (Illuminance and Luminous Exstance) Ölçümleri,
- Parıltı (Luminance) Ölçümleri,

şeklinde özetlenmektedir (Sönmezocak, 2014).

Aydınlatmanın üç temel dayanağı olan, ışık, maddenin ışıkla ilgili yapısı ve görme organı konularından ikisi, ışık ve madde yüzey özellikleri, fotometri laboratuvarlarının çalışma konuları içinde yer alır. 380 nm ile 780 nm dalga boyları arasındaki insan gözünün algılayabildiği elektromanyetik tayfin kızılötesi ve morötesi bölgeleri arasında kalan ışık ölçümleri 'fotometri' alanının konusudur. Bu alandaki temel nicelik Işık Şiddeti (I_v)' dir. Işık şiddeti yedi temel SI (Uluslararası Birimler Sistemi) ölçüm biriminden biri olan "kandela" (cd) cinsinden ifade edilmektedir. (Türkoğlu vd., 2008). Diğer başlıca fotometrik niceliklerin birimleri ise; ışık akısı; lümen (lm), aydınlık düzeyi; lüks (lx), aydınlık şiddeti (parıltı); cd/m^2 ve ışık akısı yoğunluğu; W/m^2 'dir (Şahin, 2014; Kocabey, 2008).

3.2.1. Fotometrik büyüklükler

3.2.1.1. Işık

Işık, görülebilen radyasyondur. Gözdeki fotoreseptörlerin algıladığı enerji veya elektromanyetik dalga olarak tanımlanır. Ancak gözün tepkisi daha sonra ortaya çıkar. Elektromanyetik dalgalar; yüzeyler, objeler ve malzemelerle etkileşime girdiğinde ışık algılanır. Bu yansıyan ve/veya gönderilen ışık, görsel sahnemizi oluşturur (Steffy, 2002).

3.2.1.2. Işık şiddeti

Işık şiddeti " I " ile gösterilir. Birimi "candela (cd)" dır. Işık şiddeti, saniyede yayılan ışığın belli bir yöne doğru tek bir doğrultuda yoğunlaşmasıdır ve noktasal ışık kaynakları için tanımlanır (Taş, 2013).

3.2.1.3. Işık akısı

Birimi lümen olan ışık akısı Φ harfi ile gösterilmektedir. Bir ışık kaynağının ışık akısı, bu ışık kaynağından çıkan enerji akışı olarak adlandırılır ve normal gözdeki spektral duyarlılık eğrisine göre değerlendirilir. Işık akısı (Φ_v), izotropik ışık kaynağı tarafından yayılan 1 candela biriminde bir ışık şiddetine sahip ışığın 1 uzay açıda (steradyan) yayılan ışık yoğunluğu şeklinde ifade edilir. Başka bir varyasyonda, küresel yüzeylerin toplamı steradyan cinsinden ($\Omega = \int d\omega$) hesaplanır. Küresel yüzeylerin tamamı 4π steradyan olarak ifade edildiğinde sonuç olarak toplam ışık akısı:

$$\Phi_v = \int I(\omega) d\omega \quad (3.1)$$

olarak hesaplanabilir (Özkaya, 1998).

3.2.1.4. Aydınlık düzeyi

Birimi lüks olan aydınlık düzeyi E harfi ile gösterilmektedir. Bir yüzeyin bir m noktasındaki ortalama aydınlık düzeyi, bu noktayı içine alan bir Δs yüzeyine düşen $\Delta\phi$ ışık akısının Δs yüzeyine bölümüne eşittir. Bir yüzeyde oluşan aydınlık düzeyi yüzeyin türünden bağımsızdır. Yüzeyin yansıtma özelliğine bağlı olmadan aydınlık düzeyi, yalnız yüzey üzerine gelen ışık akısı yoğunluğunun bir fonksiyonudur. Δs yüzeyi sıfıra yaklaşırsa $\Delta\phi / \Delta s$ oranının limiti, bu noktadaki aydınlık düzeyini verir (Eser, 2013).

3.2.1.5. Aydınlık şiddeti (parıltı, lüminans)

Parıltı diye ifade edilen aydınlık şiddeti, en genel halde, bakılan doğrultuya ve yüzeyin belirli bir noktasına bağlıdır. Parıltının yüzeyin her noktasında eşit olduğunu göz önüne alırsak, α doğrultusundaki parıltı, o doğrultudan görünen birim yüzeyden çıkan ışık şiddetidir. Parıltının sembolü L 'dir. Birimi cd/m^2 ' dir (Göçmen, 2014).

3.3. Fotometrik Yasalar

3.3.1. Kosinüs yasası

Bir S yüzeyi paralel ışıklardan oluşan bir ışık demetine maruz kaldığında aydınlık şiddeti, ışık akısının yüzeye geliş açısı olan α değerine bağlı olarak değişmektedir. Herhangi bir yüzeyden geçen aydınlık düzeyi (E) ışığın normal çizgisinden yüzeye

doğru ölçülen geliş açısı α 'nın kosinüsüne bağlıdır. Işık akısının sabit olduğu varsayılırsa yüzeydeki aydınlık şiddetinin değişimi yalnızca ışık akısı ile yüzey arasındaki açuya bağlı olacaktır.

$$E = E_n \cos \alpha \quad (E_n \text{ ışık demetinin aydınlık düzeyi}) \quad (3.2)$$

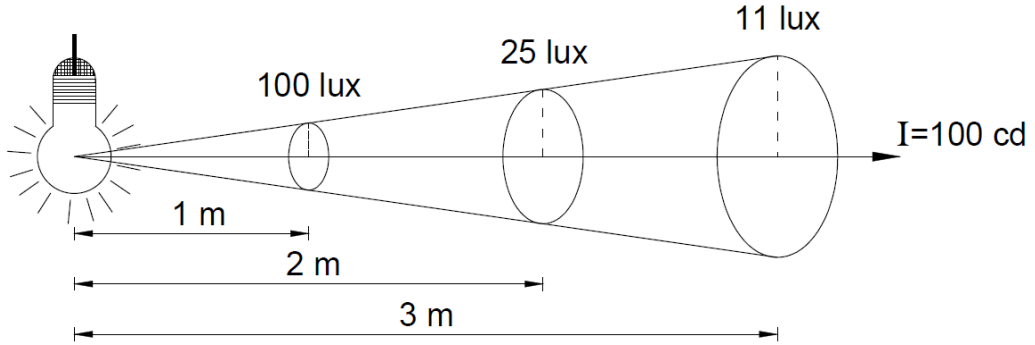
bulunur. Buna *kosinüs yasağı* denir (Taylor, 2000).

3.3.2. Uzaklıkların karesiyle ters orantı yasağı

Işığın geliş doğrultusuna dik bir düzlem üzerindeki bir noktanın aydınlık düzeyi, bu nokta doğrultusundaki ışık şiddetinin, söz konusu nokta ile noktasal ışık kaynağı arasındaki mesafenin karesine bölümüne eşit olacaktır (**şekil 3.1**). Uzaklık d ile gösterilirse, ışığın geliş doğrultusuna dik düzlem üzerinde bulunan bir noktadaki aydınlık düzeyi;

$$E_p = I / d^2 \quad (3.3)$$

şeklinde ifade edilir (Taş, 2013).



şekil 3.1 I ile E arasındaki ilişki (uzaklıkların karesi ile ters orantı yasağına göre) (Taş, 2013)

Bu bağıntı “uzaklıkların karesi ile ters orantı yasağı” olarak bilinmekte olup sadece noktasal kabul edilebilen kaynaklar için geğerlidir. Bir ışık kaynağı, ancak yeteri kadar büyük bir uzaklıktan yani kritik uzaklık veya sınır diye adlandırılan bir uzaklıktan bakıldığında noktasal kabul edilebilir. Fotometrik ölçmeler için, sınır uzaklığı ışık kaynağının en büyük boyutunun yaklaşık 10 katı (%1'den küçük hatayla) ve 5 katı

kadardır (%1 ila %2 hatayla). Bununla birlikte, uygulamada, söz konusu kaynağın noktasal kabul edilebilmesi için ışık kaynağı ile hesap noktası arasındaki mesafenin, ışık kaynağının en büyük boyutunun 3 katı olması gerekmektedir (Onaygil, 2008).

3.3.3. Lambert yasası

Işık yayan bir yüzeyin parıltısı, her doğrultuda sabit ise bu yüzeye *Lambert yasasına göre ışık yayan yüzey veya ideal dağıtıcı yüzey* denir. ($L_a=L$ =sabit)

Lambert yasasına uygun ışık yayan bir cisim mat görünüşlüdür. Lambert yasasına uygun ışık yayan düzlem ve cisimlerde;

$$\Phi=\pi L S \quad (3.4)$$

dir. Burada Φ , cisim veya düzlemden yayılan toplam ışık akısını (lm) cinsinden, L, Lambert yasasına göre yüzeyin sabit olan parıltısını (cd/m^2) cinsinden ve S de cismin veya düzlemin yüzey alanının m^2 cinsinden gösterir (Özkaya, 1998).

3.3.4. Uzay açısı iz düşüm yasası

Kısmi ışık akısının içinden geçtiği piramit veya koni şeklindeki uzay parçasına uzay açısı denir ve $d\Omega$ ile gösterilir. Uzay açısı izdüşümü ise uzay açısının aydınlatılan düzlemdeki izdüşümüdür ve $d\Omega'$ ile gösterilir. Lambert yasasına uygun ışık yayan bir S yüzeyinin, çalışma düzleminin bir P noktasının normali ile yaptığı açı α olduğunda, uzay açısının izdüşümü:

$$d\Omega'=\cos\alpha d\Omega \quad (3.5)$$

dir (Özkaya, 1998).

3.4. Fizyolojik-Optik Esaslar

3.4.1. Gözün görmesi

Beyindeki ileti yollarının yaklaşık %40'ı ve beyin korteksinin üçte biri görme sistemine aittir. Görme duyusu sadece renkleri ve ışığı tanıyan bir araç değildir. Aynı

zamanda üç boyutlu uzay ve farklı uzaklıklar da görme duyusu tarafından algılanmaktadır. Göz küresi, göz boşluğunda bulunmakta olup çevresindeki yağ dokusuyla desteklenmiştir. Göz küresi, göz kürelerinin hareket etmesini sağlayan altı adet kasla göz boşluğuna bağlıdır. Göz küresinin en dış kısmı olan beyaz sklera tabakası, göz küresine mukavemet ve şekil veren bir katmandır (Demirci, 2008).

Gözün önünde kornea denilen saydam tabaka bulunur. Işık, kornea katmanı yoluyla göze girerken mercek tarafından kırılır ve gözün içini kaplayan retina tabakasına düşer. Burada elektrik akımına dönüştürülen ışık beyindeki görme merkezine görme siniri aracılığıyla iletilir (Demirci, 2008). Göz, üç temel birleştirici renk olan, kırmızı, yeşil ve maviye tepki verir ve beyin, diğer renkleri bu üç rengin farklı kombinasyonları olarak algılar. Bu durum dış koşullara bağlı olarak değişiklik gösterir. Aynı renk güneş ışığında ve mum ışığında farklı algılanacaktır. Ancak bizim her iki koşuldakinin de aynı renk olduğunu algılamamızı sağlayan görme duyumuzun ışığın kaynağına uyum sağlamasıdır. Renk subjektif olarak kavranan bir özellik olduğundan, birçok insan aynı objeye aynı anda baktığında her biri kendine göre algılar. Çünkü renk algılamada farklı etmenler etkili olmaktadır. Bu etmenler şu şekilde özetlenebilir; kişisel renk algılama özelliği, bakılan cismin büyüklüğü, fon özelliği, ışık kaynağının cinsi ve bakış açısı (Manav, 2005b).

Bu faktörlerden aydınlatma ve cisimlerin altında buldukları ışık kaynağı büyük önem taşımaktadır. Boyalı bir pano, sodyum ampuller veya flüoresan lambalar altında başka, gölgede veya güneşte başka, siyahın, beyazın veya renkli bir yüzeyin yanında farklı görünecektir. Rengin kullanılmasında etkiyi başkalaştıran unsurlardan biri de mekanın yönüdür. Güneşli bir odada belli bir etki uyandırmak için yapılan renk planı, kuzeye bakan bir odada aynı etkiyi uyandırmaz (Yılmaz, 1994).

Gözün küreye benzeyen yapısına bakıldığında kafatasının içerisinde çok özel bir yerleşim mimarisine sahiptir. Aynı zamanda göz kaslarına da sıkıca bağlıdır. Göz kapakları da birçok fonksiyona da sahip olmalarıyla birlikte koruyucu niteliktedirler. Son derece kompleks bir çalışma düzenine sahip olan göz, iç içe üç tabakadan meydana gelir (Demirci, 2008).

- ✓ Göz Akı veya Sert Tabaka Gözü koruyan ve ışık girişine imkan tanıyan sert tabakadır. Görme olayının gerçekleşebilmesi için beyin ile iletişim kuran göz sinirlerinin göze giriş noktasıdır.
- ✓ Damar Tabaka damarların en yoğun olduğu tabakadır. Çalışma prensibi olarak fotoğraf makinesine benzetilecek olursa gözün karanlık odası da denilebilecek iris bu katmandadır.
- ✓ Ağ Tabaka siyah beyaz ve renkli ayrımının yapıldığı tabakadır. Çomak ve koni hücreleri burada bulunur. Göz içerisinde en duyarlı görmenin sağlandığı konilerin en yoğun bulunduğu sarı leke bu tabakadadır. İğne şeklindeki çomak hücreleri renk ayrımı yapamazlar. Sadece şekil algısında görev alırlar. Karanlıkta görme işlevini üstlenirler. Renk ayrımını aydınlıkta koniler yapar (Şahin, 2014).
 - Skotopik Görme: Gece görmesi (çomak hücreleri)
 - Fotopik Görme: Gündüz görmesi (koni hücreleri)
 - Mezopik Görme: Karma görme (koni ve çomak hücreleri) (Özkaya, 1998).

3.4.2. Gözün eşik değerleri

“Görünür ışın” olarak adlandırılan güneşin yaydığı ışınlar içerisindeki ışığın yeryüzüne gelme ihtimali 1/1025’dir. Evrendeki yıldızlar ve güneş farklı dalga boylarında ısı ve ışık yayarlar. Güneşten gelen dalga boyları ise 0,3 mikron ile 1,5 mikron arasındadır. Renkleri görmeye yarayan dalga boyu ise 0,4–0,7 mikron arasında olanlardır. Çünkü gözdeki koni hücreleri bu dalga boyundaki ışık geldiğinde harekete geçerler (Demirci, 2008).

Eşik değerleri aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

1. Cismin görüldüğü açının büyüklüğü
2. Cismin görüntüsünün göze geliş doğrultusu
3. Işık uyarımının etki süresi
4. Gözün adaptasyon durumu
5. Görme alanının ortalama parlaklığı
6. Görme alanının düzgünlük faktörü (Özkaya, 1998).

3.4.3. Adaptasyon

Gözün değişik aydınlık düzeylerine yani parıltılara uyum kabiliyetine adaptasyon denir. Temel olarak iki türü vardır: *Karanlık Adaptasyonu* ve *Aydınlık Adaptasyonu*. Aydınlık bir yerden karanlık bir yere geçişte karanlık adaptasyonu, karanlık bir yerden aydınlık bir yere geçişte ise aydınlık adaptasyonu denir. Karanlık adaptasyonu oldukça yavaştır, aydınlık adaptasyonu ise çok çabuk gerçekleşir. Karanlık adaptasyonunda adaptasyon süresini azaltmak amacı ile bir aydınlık düzeyinden diğere geçiş hızı azaltılır veya adaptasyon karakteristiğine uygun olarak iki aydınlık düzeyi arasındaki fark küçük tutulur. Bu sebepten komşu odaların ortalama aydınlık düzeyleri arasındaki oran 1/5'den büyük olmamalıdır (Smith, 2000).

3.4.4. Kontrast duyarlılığı

Kontrast, bir görüntüdeki en parlak olan bölüm ile en karanlık bölüm arasındaki fark olarak tanımlanır (Kılıç, 2013).

Nesnede kontrast duyarlılığı yüksek olmalıdır, böylece aydınlatmada görsel fonksiyon uygun koşullarda gerçekleştirilebilir. Kontrast duyarlılığını yükseltmek için sadece cismin parıltısını yükseltmek yeterli değildir. Buna ek olarak çevre parıltısını da aynı seviyeye yükseltmek gereklidir. Çevre parıltısının yüksek olması kamaşmayı engeller. En uygun koşullarda en büyük kontrast duyarlılığı 100 civarındadır (Kocabey, 1999).

3.4.5. Görme hızı ve kritik titreme frekansı

Sabit kontrast ve cismin görüldüğü açının belirli değeri için bir parıltının ancak fark edilebildiği t süresinin matematiksel olarak tersine *görme hızı* denir. Bir ışık kaynağının periyodik olarak değişen parıltısının göze sabit gibi görünmesi anındaki en küçük frekans değerine *kritik titreme frekansı* denir (Özkaya, 1998).

3.4.6. Kamaşma

Dış etkilerin sağlam bir gözün görme yeteneğini yok etmesi veya görme yeteneğini azaltması durumlarına kamaşma denir. Görme alnındaki parıltı 10^4cd/m^2 ve daha yüksek değerlerde olduğunda gözde meydana gelen kamaşmaya *mutlak kamaşma* denir. Görme

alanında büyük parl lı farkları olduğu durumda k c k parl lıların görülmemesi ise *bağıl kamaşma* olarak adlandırılır. Ayrıca bakılan cismin sebep olduğu kamaşmaya *direkt kamaşma*, bakılan cisimden başka bir cismin sebep olduğu kamaşmaya ise *endirekt kamaşma* denir (G cmen, 2013; Taş, 2014;Şahin, 2014).

3.4.7. Gölge ve  zg lge

IŞık kaynağı ile yüzey arasında bir engel olduğunda, yüzeydeki daha az parlak alanlar *gölge* olarak adlandırılır. Tam karanlık gölgeler *koyu gölge*, tam karanlık olmayan g lgele ise *yarı gölge* diye tanımlanır. Görsel iŐlerin üzerindeki gölgeler etkili görmeyi zayıflatır ve iÇin parl tısını azaltır. Çoğu zaman, iÇe çok yakın veya keskin bir Şekilde belirgin olan gölgeler oldukça rahatsız edicidir. Ancak gölgeleri tamamen ortadan kaldırmak mümkün değildir. Bölgeye iŐık geliş doğrultusunun farklı olması veya bölgenin yansıtma faktörünün k c k olasından kaynaklanan az parl tlı bölgelere ise * zg lge* denir (Görgülü, 2011).

3.4.8. Renk

Renk, değişik dalga boylarındaki iŐıĐın gözün retinasına ulaşması sonucu oluşan bir algılamadır. Renk veya renk tonu olarak isimlendirilen bu algılama iŐıĐın maddeler üzerine çarpması ve kısmen soğurulup kısmen yansımaları sebebiyle çeŐitlilik gösterir. Gözümüze hiŐ iŐık ulaŐmazsa siyah, tüm dalga boyları birlikte, aynı anda ulaŐırsa bunu beyaz olarak algılarız. Renk, insanı sürekli olarak etkilemekte olan, insan gözü ve iŐık var oldukça var olacak olan çok önemli bir ögedir (Rasmussen, 1994).

IŞık, insan gözünün görebildiği elektromanyetik spektrumun 380-780 nm aralığındaki k c k bir parçasıdır. Gözde iki tip fotoreseptör (iŐıĐa hassas olan alıcı sinir) vardır; çubuklar ve koniler. Alıcılar, bu aralıktaki sinyallerden gelen iŐınları beyin için çevirirler. Koni fotoreseptörler bu dalga boyu aralığında, iŐıĐın dalga boyuna bağlı olarak iŐık içerisindeki rengi yorumlarlar. Buna göre renk, iŐıĐın doğasında olan bir nitelik değil, konilerden gelen sinyalleri beyinin yorumlamasıdır. İnsan daha kısa dalga boylarındaki (400-480 nm civarında) iŐıĐı g rd Ğunde beyin bunu ‘mavi’ olarak yorumlar. Dalga boyu arttığında ilgili renk görünür tayfta sürekli bir biçimde değişir.

Renk camgöbeği, yeşil, sarı, turuncu ve en uzun dalga boyunda (710-780 nm civarında) kırmızı ile sonlanır (Öztürk, 2011).

3.5. Işık Üretiminin Temelleri

Lambalarda ışık üretimi iki temel şekilde oluşur: termik yolla ve madeni buharlar ve gazlardaki deşarj sonucu. Deşarj sonucu oluşan ışımaya görünen dalga boylarında veya morötesidir. Görünen dalga boylarında üretilen ışımada ışımının tamamı veya bir bölümü ışıktır, yani doğrudan ışık üretimi vardır. Morötesi ışımada ise ışınlar flüoresan maddelerle ışığa yani görünen dalga boylarına dönüşürler. Bu duruma *lüminesans ışık üretimi* denir.

Elektrotsuz, yüksek frekanslı endüksiyonla gazda deşarja dayanan ışık üretimi de vardır. Temelde deşarja dayalı ışık üretimi gerçekleştiren bu yöntem pek kullanılmamaktadır.

Bu yöntemlere ek olarak son yıllarda gelişen bir yöntem ise *elektrolüminesans ışık üretimidir*. Bu yöntemde elektrik enerjisi direkt olarak ışık enerjisine dönüştürülür. LED'ler bu yöntemle ışık üretirler (Özkaya, 1998).

3.5.1. Termik ışık üretimi

Genellikle, sıvılar ve özellikle katı cisimler kızgın duruma geldiklerinde ışık yayarlar. Enkandesan lambalar bu esasa dayalı olarak ışık üretirler. Üretilen ışığın spektrumu süreklidir; yani ışık sonsuz sayıdaki monokromatik ışıklardan meydana gelir (Özkaya, 1998).

3.5.2. Deşarja dayalı ışık üretimi

Uyarılan atom ve moleküllerin temel duruma geçerken aldıkları uyarılma enerjisini ışımaya enerjisi şeklinde geri vermelerine dayanan bir ışık üretim yöntemidir. Işımının tamamı veya bir kısmı ya görünür dalga boylarında ya da morötesidir (Özkaya, 1998).

3.5.3. Elektrolüminesans ışık üretimi

Bu yöntem elektrik enerjisinin doğrudan ışık enerjisine dönüştürülmesine dayanır. p-n jonksiyonlu bir yarıiletkenin bir tarafına enjekte edilen elektronun, yüzeye yakın bir yerde sıkışması ve yarıiletkenin diğer tarafında enjekte edilen delikle birleşerek ışık yayan bir foton oluşturmasıdır. LED (ışık yayan diyot)'ler ve OLED(organik LED)'ler elektrolüminesans mantığıyla ışık üretirler. Önceleri sinyal lambası olarak kullanılan LED'ler son yıllarda renk ve etkinlik faktörü açısından çok gelişmiştir (Özkaya, 1998).

3.6. Lambalar

Yapay ışık üretimini sağlamak için kullanılan ışık kaynakları akkor telli (enkandesan) ve deşarj lambaları olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Akkor telli lambalarda ışık, içinden elektrik akımı geçirilen madensel flamanın akkor hale gelip ışması sonucunda oluşur. Deşarj lambalarda ise ışık, iki elektrot arasındaki gazın çarpma suretiyle iyonizasyonu ile oluşur (Kocabey, 1999). Deşarj lambaları, deşarj tüpünün içinde bulunan gazın tipine ve basıncına bağlı olarak değişirler; ya direkt olarak gözün görebileceği ışık oluşur ya da UV radyasyonu oluşup tüp içindeki kimyasal bir madde vasıtasıyla gözün görebileceği ışığa çevrilir.

3.6.1. Akkor flamanlı (enkandesan) lambalar

Akkor flamanlı ampulde elektrik akımı, havası alınmış bir ortamda, direnci yüksek ve ısıya dayanıklı bir metal tel üzerinden geçirildiğinde metal tel, akkor hale gelerek ısı üretir aynı zamanda da ışık yayarak çevreyi aydınlatmış olur (Kale, 2010). Akkor flamanlı lambaların özellikleri incelenecek olursa;

Avantajları:

- Bağlantıları kolaydır.
- Ucuzdurlar.
- Doğrultulu huzmeler vermeye elverişlidirler.
- Az yer kaplarlar.
- Hemen ışık verirler.
- DC ve AC akımda kullanılabilirler.

- Lambanın sık sık yanıp sönmesi lambanın ömrünü kısaltmaz.
- Ortam sıcaklığı lambanın ışık akısı çıkışını etkilemez.
- Kullanım alanı çok çeşitlidir.
- Az kullanılan ucuz tesisler için uygundur.
- Bölgesel aydınlatmalar için uygundur.
- Gerilimi değiştirmek suretiyle lambanın ışık akısı ayarlanabilir.
- Renk bakımından 150 lüks'ün altında aydınlık düzeyine ve sıcak renkli ışığa ihtiyaç duyulan yerler için uygundur.

Dezavantajları:

- Kullanım açısından ekonomik değildir.
- Rengi pembe tonlarındadır, yeşil tonlarındaki renkleri iyi göstermez.
- Etkinlik faktörü küçüktür (8,0 – 18,6 lm/W).
- Lamba ömrü kısadır.(1000 saat)
- Fazla ısınır.
- Çıplak gözle bakıldığında kamaşmaya neden olabilir (Erçetin, 2007).

3.6.2. Deşarj tipi lambalar

Gazlı deşarj ampulleri çoğunlukla dış aydınlatmada kullanılır. Ancak bazı durumlarda endüstriyel işletmelerde ve reklamcılık gibi iç aydınlatma tesislerinde de kullanılır. Deşarj tipi aydınlatma gereçleri üç çeşittir (Kale, 2010).

3.6.2.1. Civa buharlı deşarj lambalar

Civa buharlı lambalar balast ile birlikte çalıştırılır. Güçleri 50-1000 Watt arasında değişiklik gösterir. Ampulün içinde çift elektrota sahip deşarj tüpü bulunmaktadır. Tüpün içinde ise civa buharı vardır. Ampul çalışırken elektrotların bulunduğu kısım ultraviyole ve mavi ışık yaymaktadır. Bu sebeple ampul camının iç yüzeyi floresan maddeyle kaplanmıştır. Bu madde ultraviyole ışınları görülür ışına çevirir (Kale, 2010).

Avantajları:

- Işık etkinliği fazladır.
- Uzun lamba ömrüne sahiptir (2000-6000 saat).

- Lamba boyutları verdiği ışığa bakılarak fazla büyük değildir.
- Kullanım açısından ekonomiktir.
- Darbe ve sarsıntılara karşı dayanıklıdır.
- Ani ısı değişimleri ve kısa süreli gerilim yükselmelerine karşı dayanıklıdır.
- Doğrultulu huzmeler vermeye elverişlidir.

Dezavantajları:

- Devresi kapandıktan sonra sönme süresi uzundur.
- Bağlantısı zordur.
- Kırmızıya bakan renkler başta olmak suretiyle her rengi iyi göstermez.
- Balast gibi yardımcı bir araca ihtiyaç duyulur.
- İlk kurulum maliyeti fazladır (Erçetin, 2007).

3.6.2.2. Sodyum buharlı deşarj lambaları

Sodyum buharlı lambalar kızgın elektrotlu deşarj lambaları olup iki ana başlık altında incelenirler; Alçak ve yüksek basınçlı sodyum buharlı deşarj lambalar.

Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalarda, tüp içinde oda sıcaklığında katı halde bulunan sodyum madeni bulunur. Tüp sıcaklığı 250-300°C'ye ulaştığı zaman sodyum madeni buharlaşır ve tüpün basıncı birkaç mm cıva (Hg) değerine düşer. Deşarj, önce neon veya argon gazı gibi yardımcı bir gaz içinde meydana gelir. Bu yüzden tüp, az miktarda asal gaz içerir. Kızgın elektrotlar ise baryum oksitle kaplanmış tungstendir. Gerilim uygulanmasıyla ana dolgu gazında (neon veya argon) küçük ışıltılı deşarj yolları oluşması suretiyle ön deşarj başlar. İyonizasyon sayesinde ön deşarj ana deşarjı başlatır. Dolayısıyla tüp ısınır, sodyum buharlaşır ve ışıklı plazma, dolgu gazından sodyum buharına geçiş yapar (Kılıçaslan, 2011).

Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların yapısı alçak basınçlı sodyum buharlı lambaların aynısıdır. Fakat kullanılan malzemelerde bazı değişiklikler vardır. Bu lambalarda deşarj ile birlikte iç basınç değerinin 200 torr' a çıktığı görülmüştür. Bu basınca deşarj tüpünün dayanması çok zordur. Bu nedenle bu basınç değerini düşürmek için deşarj tüpünün içinde xenon gazı kullanılmıştır. Ayrıca yüksek ısılarda quartz kristali yetersiz olduğu için yerine Al₂O₃ kullanılır. Isı kaybını önlemek için koruma

tüpü deşarj tüpünün üzerine yerleştirilmiştir. Bu lambalar, alçak basınçlı sodyum buharlı lambalara göre daha kısa sürede rejime yani ışık yaymaya başlar (yaklaşık 3 dakika) (Şahin, 2015).

Avantajları:

- Işık etkinliği diğer kaynaklara göre en fazla olan ışık kaynağıdır.
- Uzun lamba ömrüne sahiptir (3000-5000 saat)
- Kullanım açısından ekonomiktir.
- Sisli havalarda görüşe yardımcı olur.

Dezavantajları:

- İlk kurulum maliyeti pahalıdır.
- Renklerin ayırt edilmesine imkan vermez.
- Rengi sarıdır.
- İnsanların sürekli bu ışık altında çalışmalarında bazı sakıncalar görülmektedir (Erçetin, 2007).

3.6.2.3. Metal halide lambalar

Metal hâlde ampullerin yapısı kuvars tüpten oluşur. Bu tüpün içinde talyum ve sodyumun yanı sıra kalay iyodür halojenleri bulunmaktadır. Kuvars deşarj tüpü çift veya tek uçlu olabilmektedir. Bu ampuller çift zarflı yapıdadırlar. Çift uçlu olan ampuller dış zarfının havası alınmak suretiyle silindirik ve saydam bir kuvars tüpün içine yerleştirilmiştir. Ampulün yanması için bir balasta ve bir ateşleyiciye ihtiyaçları vardır. Metal halide tip ampulleri 70-3500 watt arasında değişen güce sahiptirler. Metal halide ampuller dekoratif iç aydınlatma, müze, mağaza ve vitrin aydınlatmasında kullanılır. Bununla birlikte şeffaf camlı olan bu ampuller çok güçlü ışık verme özelliğine sahiptir. Bu özellikleri sayesinde büyük alanların, spor sahalarının aydınlatılmasında kullanılırlar (Kale, 2010).

Metal halojen lambaların yapısında, argon ve civa buharının yanı sıra sodyum, talyum, indiyum gibi metal halojenler bulunmaktadır. Lambanın çalışma sıcaklığına ulaşmasıyla metal halojenler buharlaşır. Buhar halojen, deşarj yüksek sıcaklık eşiğine ulaştığında,

metal ve halojen ayrılır, metal molekülleri kendi spektrumlarını yayarlar. Halojen ve metaller konveksiyon ve difüzyonla deşarj tütünün daha soğuk olan kısımlarına, özellikle dış duvarlara hareket etmek suretiyle, çevrimi yeniden başlatmak üzere birleşirler (Kılıç, 2013).

Avantajları:

- Etkinlik faktörü ve renksel geriverim oldukça iyidir,
- Farklı renk sıcaklıklarına sahiptirler.

Dezavantajları:

- Pahalıdırlar.
- Ateşleme ve tekrar yanma zamanları 2 ile 5 dakika arasındadır.
- Gerilim değişimlerine karşı hassastırlar.
- Yanma sırasında lambalar arasında renk sıcaklıkları farklılıkları vardır. Bu farklılıklar seramik metal halojen lambaların kullanımı ile azaltılabilir (Gündüz, 2012).

3.6.3. Flüoresan lambalar

Flüoresan lambalar Türkiyede kullanılan tüm aydınlatmaların üçte ikisini oluşturmaktadır. Flüoresan lamba bir gaz deşarj kaynağıdır. Bu gaz, düşük basınçta civa buharı ve başlangıç için küçük bir miktar soygaz içerir. İlk ark civa buharının ultraviyole radyasyonu yayması ile başlar. Spektrumun görülür bölgesindeki dalga boyunda yayılan ultraviyole radyasyona tepki verebilmek için cam ampulün en iç duvarı flüoresan toz (fosfor) ile kaplanır (Taylor, 2000).

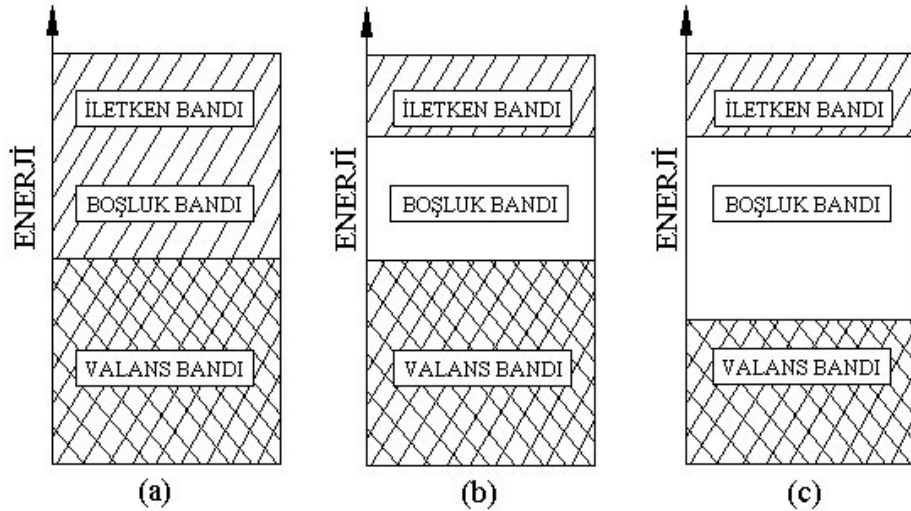
Flüoresan lambalar elektrik düğmesine basıldığında flüoresanın bir ucundaki flamanından diğere bir ark oluşması prensibine göre çalışırlar. Bu ark, camın içerisindeki civayı buhar haline getirir ve oluşan buhar elektrik yüklenerek ultraviyole ışınları saçmaya başlar. Bu ultraviyole ışınlar tütün içindeki fosfor tozlarına çarparak görülen parlak ışığı oluşturur (Gündüz, 2012).

Floresan lambalar, enkandesan lambalarda olduğu gibi direkt olarak şebekeye bağlanarak kullanılamazlar. Bazı elemanlar yardımıyla devreden akan akımı

sınırlamaları gerekir. Bu elemanlara *balast* adı verilmektedir. Elektronik ve manyetik olmak koşuluyla iki çeşit balast tipi vardır. Ateşlemenin başlaması için önce elektrotların ısıtılması gerekeceğinden lambaya başlangıçta yüksek bir gerilim uygulanması gerekmektedir (Gündüz, 2012).

3.7. Yarıiletkenler

Katılar, optik ve elektriksel özelliklerine bağlı olarak yalıtkanlar, iletkenler ve yarıiletkenler şeklinde üçe ayrılır. Bunların arasında enerji-bant yapıları bakımında temel farklılıklar bulunmaktadır. Yalıtkanların iletim bandı tamamen boş, valans bandı ise tamamen doludur. Ayrıca yasak enerji aralıkları geniştir dolayısıyla oda sıcaklığında valans bandından iletim bandına elektron geçişi oldukça zordur. Bundan dolayı yalıtkan malzemeler elektriği iletmezler. İletkenler de yasak enerji aralığı olmayan yani iletim ve valans bantları üst üste binen katılardır. Bu yüzden iletken malzemeler elektriği iyi iletirler. Yarıiletkenlerin ise yasak enerji aralığı öyle bir değere sahiptir ki, ısıl uyarılma ile erime noktalarının altındaki sıcaklıklarda bile elektriksel iletkenlik gösterirler. Bu nedenle yarıiletkenlerde oda sıcaklığında elektronlar valans bandından iletim bandına geçebilirler ve iletim sağlayabilirler (Yıldırım, 2010).



Şekil 3.2 İletkenlik derecesine göre değişen bant enerjileri (a) iletken, (b) yarıiletken, (c) yalıtkan (Nalçacıgil, 2011)

Yarıiletkenler, elektriksel iletkenlik bakımından iletkenler ile yalıtkanlar arasında yer alırlar ve mutlak sıcaklıkta ($T=0^{\circ}\text{K}$) yalıtkanların özelliklerini gösterirler. Bunun yanı sıra yarıiletken malzemeler; ısı, ışık ya da manyetik alan etkisinde kaldıklarında veya gerilim uygulandığında değerlik bandında bulunan elektronların bir kısmı yasak enerji aralığını geçerek iletkenlik bandına çıkarlar. Yarıiletken, iletkenlik bandına çıkan elektronların elektriksel iletme katılmasıyla iletkenlik özelliği kazanır. Ancak yarıiletken malzemedeki iletkenlik geçici olup dış etkiler ortadan kalktığında tekrar yalıtkan hale döner. Bu özelliklerinden dolayı elektronik alanında oldukça yoğun olarak kullanılır (Akın, 2012).

3.7.1. Katıksız (saf) yarıiletkenler

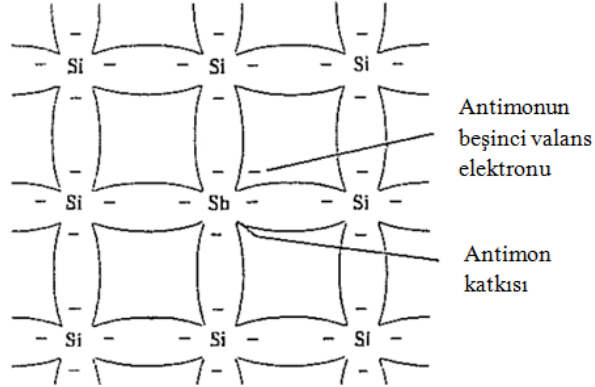
İçinde hiçbir safsızlık maddesi bulundurmayan yarıiletkenlere, *saf yarıiletken* denir. Saf yarıiletkenlerde mutlak sıfırda kovalent bağlarda hiçbir elektron eksikliği görülmemektedir. Saf yarıiletkenlerde, mutlak sıfırda ($T=0^{\circ}\text{K}$) serbest yük taşıyıcıları bulunmamaktadır, yani iletim bandında serbest elektronlar bulunmamaktadır ve valans bandı elektronlarla tam olarak doldurulmuştur. Ancak yarıiletkene dışardan bir ısı verildiği takdirde ısısal enerjinin etkisiyle bazı kovalent bağlarda kopma meydana gelebilir. Bunun sonucunda kopan elektron serbest kalır ve elektronun boş yerinde boşluk (deşik) oluşur. Böylece ısının etkisiyle silisyumda elektron vedeşik çifti oluşur. Saf yarıiletkenlerde valans bandının kopmasıyla eşit sayıda serbest elektronlar vedeşikler oluşur. Taşıyıcılar çift olarak üretildikleri için iletkenlik bandının birim hacmindeki elektron sayısı (n) ile valans bandının birim hacmindeki boşluk sayısı (p) birbirine eşittir (Akın, 2012).

3.7.2. Katkılı yarıiletkenler

Katkılı yarıiletkenler yalnızca tek bir taşıyıcı tipinin (holler veya elektronlar) elektriksel iletimi sağladığı yarıiletkenlerdir. Bu işlem uygulanan yarıiletkenlerin elektriksel özelliklerinde ciddi ölçüde değişim meydana gelir. Katkılama işlemi, uygun katkı atomlarının (alıcı: akseptör, verici: donör) yarıiletken içerisine çeşitli teknikler ile katılmasıyla yapılır bu sayede istenilen özelliklere sahip yarıiletkenler elde edilmiş olur. Yarıiletkenler akseptör atomları ile katkılanırsa p-tipi, donör atomları ile katkılanırsa n-tipi yarıiletken özelliği gösterirler (Yıldırım, 2010; Kittel 1996).

3.7.2.1. n-tipi yarıiletken

Hem n-tipi hem de p-tipi malzeme bir germanyum veya silisyum tabana, önceden belirlenmiş sayıda katkı atomu eklenmesiyle oluşur. Elektron yoğunluğunun, hol yoğunluğundan fazla olduğu yarıiletkenlere *n-tipi yarıiletken* adı verilir. n-tipi malzeme, antimon, arsenik ve fosfor gibi *beş* valans elektronuna sahip (pentavalans) katkı maddeleri eklenerek oluşturulur (**Şekil 3.3**). Dört kovalent bağ hala mevcutken katkı atomundan dolayı ek bir beşinci elektron vardır ve belirli herhangi bir kovalent bağ ile ilişkisi yoktur. Geriye kalan ve antimon atomuna gevşekçe bağlı olan bu elektron, yeni oluşturulan n-tipi malzeme içerisinde nispeten hareket serbestisine sahiptir. Eklenen katkı atomu nispeten serbest bir elektron katkısında bulunduğu için beş elektrona sahip katkı maddelerine *katkı atomları* veya *donör atomları* denir. Bu beşinci elektron ortamdan temin edeceği ısıl enerji ile kolayca iyonlaşabilir ve ilettime katkıda bulunabilir (Boylestad ve Nashelsky, 2004).

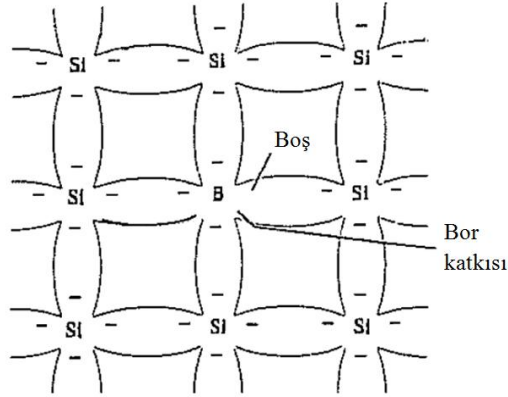


Şekil 3.3 n-tipi malzemede antimon katkısı (Boylestad ve Nashelsky, 2004)

3.7.2.2. p-tipi yarıiletken

Boşlukların taşıyıcı yoğunluğu elektronların taşıyıcı yoğunluğundan büyük olan katkılı yarıiletkenlere *p-tipi yarıiletken* denir. p-tipi malzeme, saf bir germanyum veya silisyum kristaline *üç* valans elektronuna sahip katkı atomları eklenerek oluşturulur. Bu amaçla en sık kullanılan elementler bor, galyum ve indiyum'dur. Bor'un silisyum taban üzerine etkisi **Şekil 3.4**'de gösterilmiştir. Yeni oluşan örgüde kovalent bağları tamamlamak için yeterli sayıda elektron yoktur. Sonuçta ortaya çıkan bu boşluğa delik denir ve negatif yük olmaması nedeniyle küçük daire veya matematiksel artı işareti ile

gösterilir. Ortaya çıkan boşluklar serbest elektronları almaya hazır oldukları için, eklenen katkılara *alıcı (akseptör)* denir. Eğer bir valans elektronu kovalent bağı koparmaya yetecek enerjiyi alır ve deliğin oluşturduğu boşluğu doldurursa, bu durumda elektronu bırakan kovalent bağda bir delik veya boşluk oluşur (Achutan ve Bhat, 2008; Boylestad ve Nashelsky, 2004).



Şekil 3.4 p-tipi malzemede bor katkısı (Boylestad ve Nashelsky, 2004)

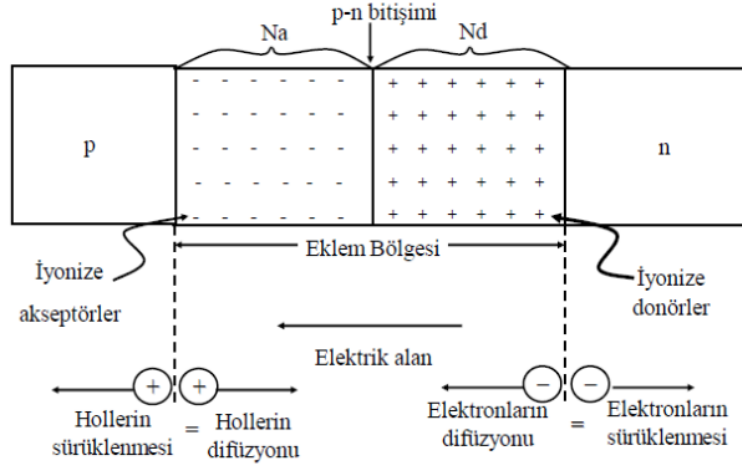
3.8. pn eklem

pn eklem 1940 yılında keşfedilmiş ve bir pn eklemde p-tipi bölgede ileri besleme durumunda diyot üzerinden büyük akım geçerken n-tipi bölgede ters besleme durumunda diyot üzerinden küçük bir akım geçtiği bulunmuştur. Daha sonra da Bell Laboratuvarlarında p-tipi alıcı safsızlıkları ile n-tipi verici safsızlıkları arasındaki ilişki bulunmuş ve 1949 yılında pn eklem diyot denklemi geliştirilmiştir. pn eklem modern yarıiletken güç cihazların temel yapı taşlarını oluşturur. pn eklemelerin doğrultma ve anahtarlama gibi elektronik devrelerde temel işlevleri vardır. Yapısında pn eklem bulunan elektronik elemanlara örnek olarak pn eklem diyot, transistör, güneş pili verilebilir (Sze, 2002).

3.8.1. pn eklemnin temel yapısı

Ayrık n-tipi ve p-tipi iki yarıiletken malzeme ele alındığında, büyük miktarda elektron konsantrasyonu ve az miktarda boşluk konsantrasyonu olan n-tipi yarıiletken, bunun tam tersi söz konusu olan malzeme ise p-tipi yarıiletkendir. İki yarıiletkenin birleştirilmesi halinde bir pn eklem oluşur ve eklemdeki büyük taşıyıcı

konsantrasyonlarının değişimlerinden dolayı taşıyıcı difüzyonları ortaya çıkar (Şekil 3.5) (Akın,2012).



Şekil 3.5 pn eklem oluşumu (Akın,2012)

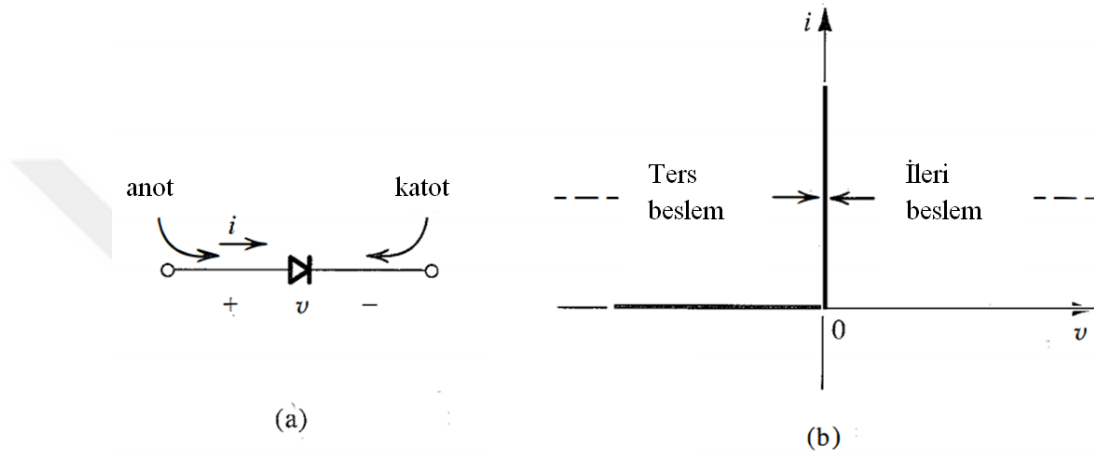
Elektronlar n-tipi tarafından p-tipi tarafına doğru difüzyon oluşturlarken boşluklar da p-tipi tarafından n-tipi tarafına doğru difüzyon oluşturmaktadırlar. Elektronların n-tipi bölgeden ayrılması ile geride artı (+) yüklü donör atomları kalırken boşlukların p-tipi bölgeyi terk etmesi ile birlikte geride eksi (-) yüklü akseptör atomları kalacaktır. Çoğunluk taşıyıcılarının eklem üzerinden akışları, eklem hemen çevresindeki bölgeyi etkileyecektir. Geride kalan (+) yüklü donör atomları ve (-) yüklü akseptör atomları eklem çevresinde bir elektrik alan oluştururken, bu alan, iki ayrı bölgedeki taşıyıcı farklarından dolayı oluşan doğal akışı engelleyici yönde artacaktır. Denge kurulduğunda, taşıyıcı akışı duracak ve eklem çevresinde bir elektrik alan oluşacaktır. Bu elektrik alanın büyüklüğü, kullanılan yarıiletken ve yarıiletkenlerin katkılanmalarına bağlıdır. Elektrik alan taşıyıcıların her bir tipi için difüzyon akımına zıt yöndedir. Bu nedenle elektrik alan n-tipi yarıiletkenden p-tipi yarıiletkene doğru, difüzyon akımına zıt yönde sürüklenme akımı yaratır (Neamen, 1992).

3.9. Diyotlar

pn eklem p bölgesi n bölgesine göre pozitif olduğunda (ileri besleme durumu) pn eklem üzerinden büyük akım geçerken, p bölgesi n bölgesine göre negatif olduğunda

(ters besleme durumu) pn eklem üzerinden çok küçük akım geçmektedir. Bu nedenle pn eklem bir yönde akım geçiren bir devre elemanı olan *diyot* olarak kullanılır.

pn eklem yarıiletken diyot görevi görmektedir. Yarıiletken elemanların en basiti olmasına rağmen, basit bir anahtarinkine benzeyen karakteristikleri ile elektronik sistemlerde çok önemli rol oynar. İdeal bir diyotun karakteristikleri **Şekil 3.6'** da verilmiştir (Akın, 2012).



Şekil 3.6 İdeal diyot karakteristikleri (Sedra ve Smith, 2004)

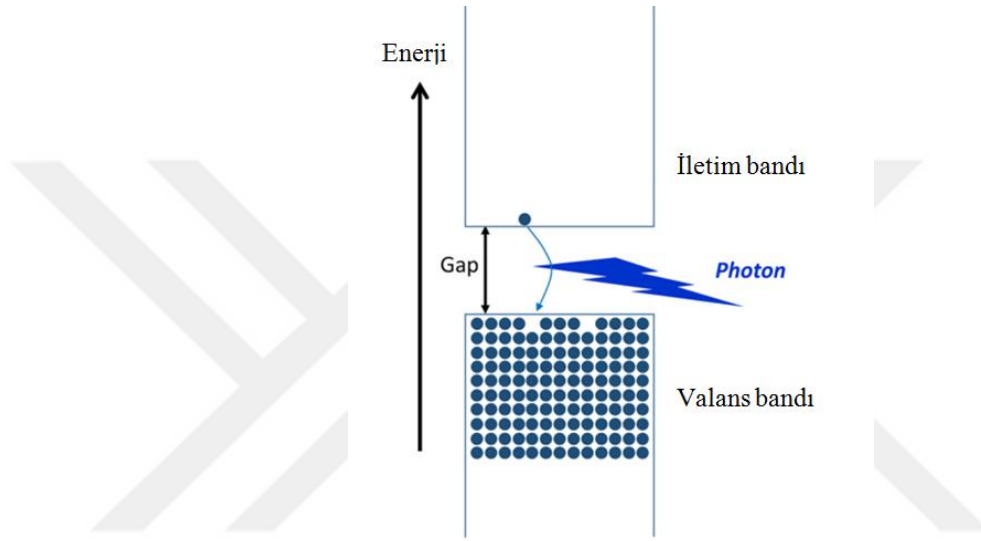
pn eklem diyodun akım-voltaj karakteristikleri pn eklem uçlarına uygulanan gerilimle pn eklem diyot üzerinden geçen akım arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir. pn eklem diyot ileri besleme ve geri besleme durumlarında farklı davranışlar göstermektedir.

pn eklem dışarıdan bir voltaj uygulanması pn eklem beslenmesi anlamına gelmektedir. pn eklem dışarıdan uygulanan bu voltaj elektronların ve boşlukların difüzyon ve sürüklenme akımları arasındaki dengeyi bozar ve sonuç olarak pn eklem üzerinden net bir akım geçer. pn eklem beslenmesi, ileri (doğru) besleme ve geri (ters) besleme olarak iki şekilde gerçekleşir. (Buget, 1983).

3.10. LED'ler

LED, kelime anlamı olarak İngilizceden çevrildiğinde Light Emitting Diode (Işık Yayan Diyot)'un baş harflerini ifade etmektedir. LED, maddenin, n-tipi ve p-tipi olarak isimlendirilen, işleminden geçirilmiş iki yarıiletken elementinden oluşmaktadır. LED'ler,

asında normal bir yarıiletken diyot olmalarının yanı sıra öteki diyotlardan farkı p-n eklem bölgelerinde yaydıkları fotonlar aracılığı ile ışık veriyor olmalarıdır (Şekil 3.7) (Dupuis ve Krames, 2008). LED ışık kaynakları, ışık spektrumunun morötesinden kızılötesine kadar uzanan geniş bir aralığında ışınım üretimi yapmaktadırlar (Çağlayan, 2015). Bu sayede kullanım alanları oldukça geniştir. Ayrıca LED'ler katı hal aygıtlar oldukları için dayanıklı, küçük ve aynı zamanda ortalama 100.000 saat ömür ile diğer kaynaklardan daha uzun lamba ömrü sağlarlar (Arik vd., 2010).

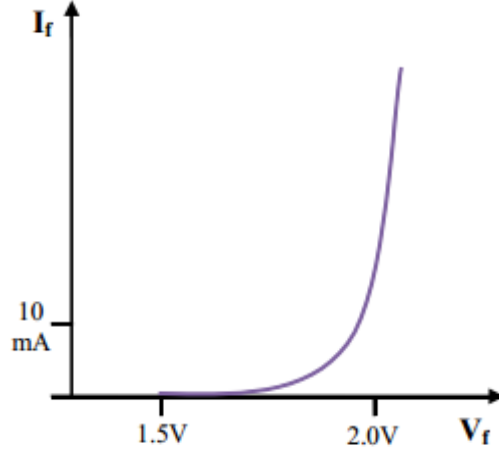


Şekil 3.7 pn eklem bölgesinden foton yayılması (Gayral, 2017)

3.10.1. LED'lerin karakteristik yapıları

3.10.1.1. Akım-gerilim karakteristiği

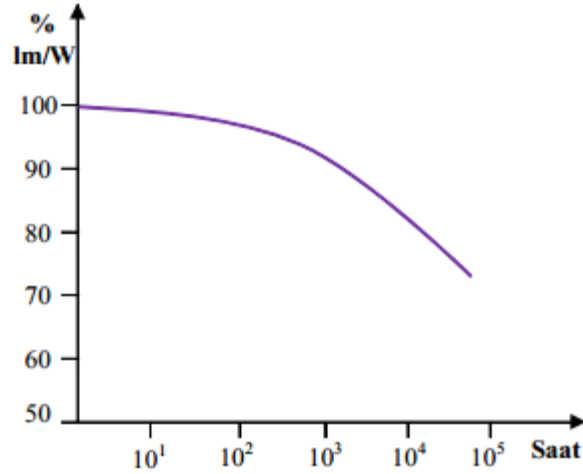
Her yarıiletken elemanın farklı maddelerden elde edilmesi dolayısıyla çeşitli akım-gerilim karakteristikleri vardır. LED'lerin akım-gerilim karakteristiği ise Şekil 3.2'de görüldüğü gibidir. LED'ler ortalama olarak 1.5 V ve 10 mA değerlerinden itibaren ilettime geçerek ışık yaymaya başlarlar (Akbulut, 2010).



Şekil 3.8 LED'in akım gerilim karakteristiği (Gürbüz,2012)

3.10.1.2. Verim-zaman karakteristiği

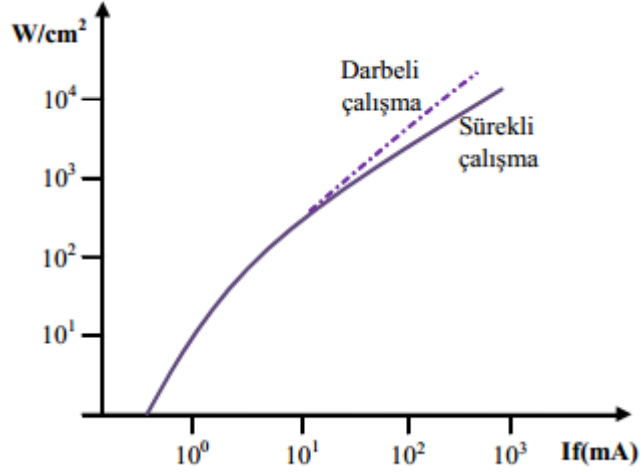
LED'lerin verimi lm / W olarak ifade edilmektedir. Zamanla orantılı olarak düşen LED'in verimi normal verimin yarısına düştüğünde ışık yayan diyot artık ömrünü tamamlamış demektir. Bir LED'in ortalama ömrü 100.000 saattir. Şekil 3.3'de normal şartlarda ($100 I_f = mA$, $T_C ortam = 250$) LED'in veriminin zamana göre değişim eğrisi grafiği verilmiştir. Bu tarz değerlendirmelerde, verimin düşme miktarı direk verim değeri olarak değil de, normal verim oranı olarak alınmaktadır (Akbulut, 2010).



Şekil 3.9 LED'in verim zaman karakteristiği (Gürbüz,2012)

3.10.1.3. Akım-ışık şiddeti karakteristiği

LED'in yaydığı ışık şiddeti, içinden geçen akım ile doğru orantılı olarak artar. Ancak bu artış; Şekil 3.4'de görüldüğü gibi belirli bir akım değerine kadar doğrusaldır. Bir noktadan sonra bükülür. Şayet diyota verilen akım, doğrusallığın bozulduğu noktayı yani eşik değerini aşarsa, diyot aşırı ısınarak bozulur (Akbulut, 2010; Musayev, 2005).

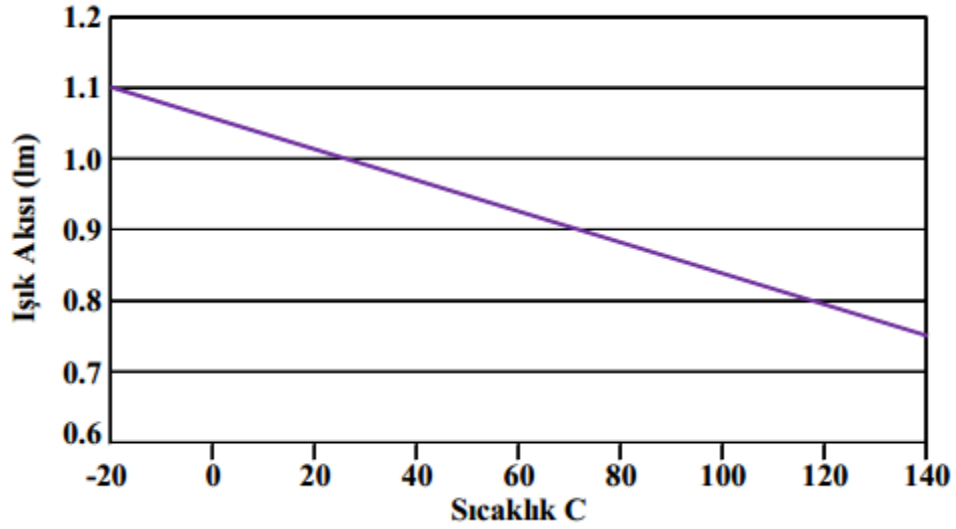


Şekil 3.10 LED'in akım-ışık şiddeti karakteristiği (Gürbüz,2012)

3.10.1.4. Sıcaklık-ışık şiddeti karakteristiği

LED'lerin etkinlik faktörleri, içlerinden geçen akım sabit olmasına rağmen, diyotların karakteristik özelliklerinden dolayı ortam sıcaklığının artmasıyla düşmektedir. LED'lerin yapıldığı malzeme türüne göre bu düşüş, her bir derece için %0.3 ile %0.7 arasında değişkenlik gösterebilmektedir (Akbulut, 2010; Menteseoğlu, 2011). LED'in ışık akısının sıcaklıkla nasıl değiştiği Şekil 3.5'de görülmektedir.

LED'in çıktı olarak ürettiği ışık miktarının olabildiğince yüksek olması istenmektedir. Jonksiyon sıcaklığı LED'in ışıksal etkinliği ve ışık akısıyla doğrudan ilgili olup jonksiyon sıcaklığı arttıkça bağıl ışık çıktısı azalır (Narendran, 2005).



Şekil 3.11 LED'in sıcaklıkla ışık akısı değişim grafiği (Gürbüz,2012)

3.10.2. LED'lerde dalga boyu

Işığın dalga boyunu ölçmekte kullanılan uzunluk birimi metrenin milyarda birine eşit olan nanometre (nm)'dir. Işığın elektromanyetik bir dalga olması bağlamında özellikleri, radyo dalgalarından gamma ışınlarına kadar uzanabilen, elektromanyetik dalganın boyuna göre değişim göstermektedir. 380–780 nm arasında değişen dalgalar aracılığıyla taşınan gözün görebildiği enerji, retinadaki alıcıları uyarak, renk uyarıları üretilmesini sağlar. CIE (Commission Internationale de Eclairage) 380 nm –780 nm arasındaki dalga boylarını “görülebilir” olarak belirlemiştir (Anonymous, 2011; Perry, 2010). **Tablo 3.1**'de renklerin dalga boylarının hangi aralıklarda olduğu ve bir LED'in, kullanılan malzemelerin cinsine göre hangi renkte ışık verebileceği görülmektedir (Taniyasu vd., 2006).

Tablo 3.1 LED renklerinin dalga boyları ve kullanılan malzemeler (Gürbüz,2012)

	Renk	Dalga Boyu(nm)	Gerilim(V)	Kullanılan Malzeme
	Kızıl ötesi	$\lambda > 760$	$\Delta V < 1.9$	GaAs, AlGaAs
	Kırmızı	$610 < \lambda < 760$	$1.63 < \Delta V < 2.03$	AlGaAs, GaAsP, AlGaInP, GaP
	Turuncu	$590 < \lambda < 610$	$2.03 < \Delta V < 2.10$	GaAsP, AlGaInP, GaP
	Sarı	$570 < \lambda < 590$	$2.10 < \Delta V < 2.18$	GaAsP, AlGaInP, GaP
	Yeşil	$500 < \lambda < 570$	$1.9 < \Delta V < 4.0$	InGaN / GaN, GaP, AlGaInP, AlGaP
	Mavi	$450 < \lambda < 500$	$2.48 < \Delta V < 3.7$	ZnSe, InGaN, SiC
	Mor	$400 < \lambda < 450$	$2.76 < \Delta V < 4.0$	InGaN
	Mor Ötesi	$\lambda < 400$	$3.1 < \Delta V < 4.4$	AlN(210 nm), AlGaN, AlGaInN
	Beyaz	Geniş spektrum	$\Delta V=3.5$	Sarı fosfor ile mavi/UV

3.10.3. LED’lerde renk sıcaklığı

Renk kalitesini ifade eden iki ölçü birimi CCT(Correlated Color Temperature) ve CRI (Color-Rending Index) olarak adlandırılan terimlerdir. CRI özel bir ışık kaynağı altında renklerin nasıl görüldüğünü tanımlayan ölçü birimidir. Tipik bir flouresan lambanın CRI değeri 82’dir (Arik vd., 2010). Renk sıcaklığı(CCT) ise teorikte, bir siyah cismin belirli bir renkte ışık vermesi için ulaşması gereken, Kelvin(K) cinsinden ifade edilen sıcaklıktır. Mesela günışığı 5000-6500°K CCT’ye sahip iken halojen ve akkor flamanlı lamba 2500-3200°K CCT’ye sahiptir. Beyaz güç LED’lerin renk sıcaklıkları ise 3200-9000°K arasında değişmektedir. Ayrıca 5000-6500 °K değerlerinin gün ışığına tekabül ettiği bilinirken 3000 °K gibi düşük sıcaklıklar, sıcak ışık; 8000 °K değerleri ise soğuk ışık olarak tabir edilmektedir (**Tablo 3.2**) (Kılıç, 2013). İnsan psikolojisini, bitkileri ve hatta hayvanları da etkileyen parametrelerden biri de renk sıcaklığıdır. Bu bakımdan aydınlatılacak yerin işlevine ve özelliklerine göre uygun renk sıcaklığı seçilmesi büyük önem arz etmektedir.

Tablo 3.2 Renk sıcaklığı aralığı (Kılıç, 2013)

Beyaz LED İsimleri	Renk Sıcaklığı Aralığı
Sıcak beyaz	2000 °K - 3500 °K
Doğal beyaz	3500 °K - 4500 °K
Soğuk beyaz	4500 °K - 10000 °K

3.10.4. LED'lerin özellikleri ve faydaları

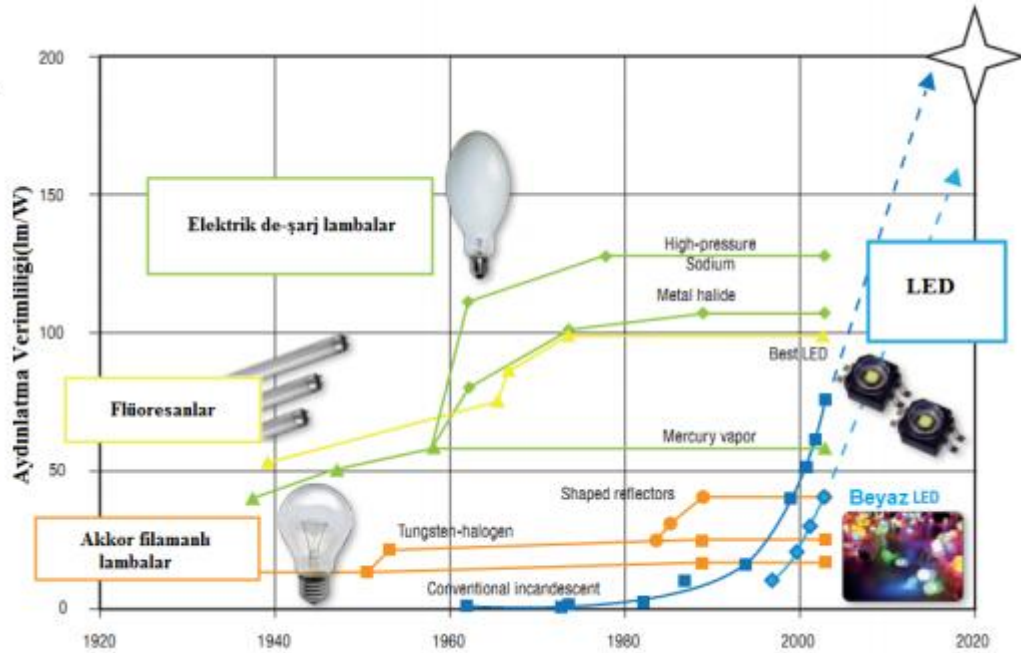
- Işık, istenilen dalga boyunda olabildiği için prizma, renk filtresi gibi renk ayırıştırıcılara ihtiyaç olmadığından tek renk ışık kaynağı (dar bantlı) olarak kullanılabilirler. Mesela kırmızı trafik lambasında 617 nm dalga boyunda kırmızı LED'lerde üretilen ışığın tamamı kullanılır. Akkor lambalarda ise üretilen ışığın sadece kırmızı bileşeninin kullanılması için mavi ve yeşil bileşenlerinin bastırılması gerekir. Aynı zamanda 75 W akkor lamba yerine 8-10W LED dizini kullanılarak % 80 enerji tasarrufu sağlanmış olacaktır.
- Küçük boyutlarda armatürlerin geliştirilebilir olması ve ışığın kolayca yönlendirilebilir olması küçük ve güçlü bir ışık kaynağı olmalarını sağlar.
- Tasarımcılara geniş kullanım alanı ve kolay kullanım imkânları sunarlar.
- 200 ns içinde ışık vermeye başlama özellikleriyle oldukça hızlıdır.
- Kullanım kondisyonuna bağlı olarak 150.000 saate kadar ulaşan uzun lamba ömrüne sahiptirler.
- Işık verimlilikleri oldukça yüksektir ve giderek yükselmektedir. Örneğin beyaz renkte laboratuvar ortamında 165 lümen/Watt'a ulaşılmış durumdadır.
- LED'lerde yonga ısısı 110° C'yi geçmezken halojen lambalarda 3100° C, deşarjlı lambalarda tüp ısısı 800-1100° C akkor lambalarda flaman ısısı ise 2700° C'ye ulaşır. Yani ısı üretimleri düşüktür.
- Işık açıları tanımlanmıştır.
- Renk tayfının görülebilir kısmındaki neredeyse tüm renkler elde edilebilir.
- 0%'dan 100 %' e kadar dimmerlenebilirler.
- Flaman, cam gibi kırılğan malzemeler içermediklerinden titreşim ve şoklara karşı dayanıklıdır.
- Beyaz LED lambalar 3200-9000 Kelvin arasında renk sıcaklığına sahiptirler.

- Yapısında civa gibi ağır metaller ve halojen gazları olmadığından çevrecidir (Durak, 2011).

3.10.5. Genel ve tarımsal amaçlı kullanılan LED lambaların diğer lambalarla kıyaslaması

1. LED lambalarda ışık üretimi katı maddeden (solid state) yapıldığından, daha yüksek ışıksal etkinlik değerleriyle diğer ışık kaynaklarına kıyasla daha düşük enerji tüketimine sahip olabilmektedirler. Bu durum işletme giderleri yönünden önemli bir avantaj oluşturmaktadır.
2. LED ışık kaynakları yarıiletken malzemeden yapıldıklarından, diğer tüm lambalara kıyasla çok daha uzun ömürlüdürler.
3. Uygun dalga boyu karakteristikleri canlının gereksinimine göre uygulama yapma olanağı sağlayabilmektedir. Diğer yandan uygun düzenlemelerle LED lamba ışınımının tamamına yakını canlı tarafından kullanılabilir. Bu durum canlıda meydana gelmesi olası ışık stresini azaltabilmektedir. Düşük ışık stresi, daha uzun süreli yapay aydınlatma yapabilme olanağı sağlayabilmektedir.
4. LED tipi aydınlatma sistemlerinin ilk kurulum maliyeti akkor telli, fluoroşıl ve sodyum buharlı lambalara göre (bugün için) yüksektir. Ancak LED lambalar için ilave balast ve yansıtıcı kullanımı gerekmemektedir. İlave balast kullanılmadığından LED tipi lamba devrelerinde ek bir güç kaybı ortaya çıkmamaktadır. LED tipi ışık kaynaklarının sabit akım verebilen düşük gerilimli DC bir kaynakla beslenmesi gereklidir. Sabit akımlı besleme LED tipi lambanın aşırı ısınmasını engellemekte ve lamba ömrünü uzatabilmektedir (Erol, 2008). Bu yönüyle emniyetli çalışma olanağı sağlayan LED tipi lambaların göreceli olarak düşük akım çeken tipleri, rüzgar veya güneş enerjisi kaynaklı elektrik enerjisiyle beslenebilmektedir. Diğer yandan LED lambaların bakım gereksinimleri çok düşük düzeydedir.
5. LED tipi lambalar diğer lambalara kıyasla hem üretim hem de kullanım aşamalarında daha çevrecidirler. LED tipi lamba üretiminde kullanılan enerji miktarı diğer lambalara kıyasla daha azdır. LED tipi lambaların yapısında civa veya kurşun bulunmadığından, fluoroşıl veya sodyum buharlı lambalara kıyasla atıklarının çevreye etkisi daha az düzeydedir olabilmektedir.

6. LED tipi lambaların bulunduğu ortamı ısıtma etkisi diğer lambalara kıyasla daha düşük düzeydedir. Yüksek basınçlı sodyum veya metal halide lambalarda görülen yüksek sıcaklıklı dış yüzey, bulunduğu ortamın sıcaklığının yükselmesine neden olabilmektedir. Hatta bazen lamba yakınındaki bitkilerde yanma bile görülebilmektedir. Buna karşılık pek çok LED tipi lambasında dış yüzey sıcaklığı, bulunduğu ortamın sıcaklığının birkaç derece üzerinde olabilmektedir. Bu yönleriyle LED tipi lambalar ekstra terlemeye neden olmadıklarından, su tüketiminin artmasına yol açmamaktadırlar. LED tipi lambaların bitkiye yaklaştırılması mahzur teşkil etmediğinden, raflarda yapılan yetiştiricilikte kullanılabilirlerdir.
7. LED tipi lambalarda akımın uygulanmasından itibaren nominal çalışma rejimine geçiş süresi diğerlerine kıyasla daha düşüktür. Ayrıca ışımaya miktarının ayarlanabilmesi (dimming capability), nem, şok ve titreşim dayanımının iyiliği bu lambaların özellikleri arasında sayılabilmektedir.(Koç vd.2009)



Şekil 3.12 Aydınlatma gelişimi (Gürbüz, 2012)

3.11. Işığın Bitkiler Üzerindeki Etkisi

Bitkiler ışığa karşı insanlardan çok daha farklı duyarlılığa sahiptir. Bu nedenle bitki gelişiminde ışık, kuantum ya da foton olarak adlandırılan küçük parçacıklar şeklinde

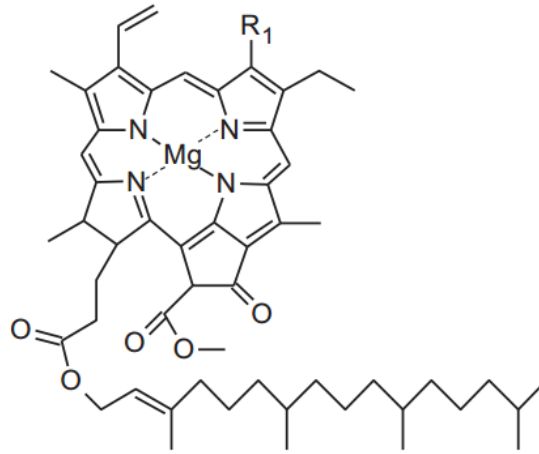
tanımlanır. Fotonların enerji içeriği dalga boyuna (ışık renk spektrumu) bağlı olarak değişir. Bitkiler, güneş ışığının ultraviyole, görünür ışık ve kızılötesi olmak üzere üçe ayrılan spektrumlarından yalnızca bir kısmını fotosentezde kullanır. Fotosentezde etkili olan spektrum ‘‘PAR-ışığı (Photosynthetically Active Radiation: Fotosentezde aktif ışımaya) (400- 700 nm)’’ olarak isimlendirilir. PAR bölgesinde bulunan fotonların miktarına ise ‘‘büyüme ışığı’’ denir.(μmol) (Çakırer vd., 2017).

Aynı zamanda *orta dalga boylu ışınlar* diye adlandırılan bu ışınların dalga boyları 400-490 nm arasında olanları *mavi-menekşe ışınlar* olarak adlandırılır. Bu ışınlar karoten, klorofil gibi hücre yapıtaşları tarafından absorbe edilmekte olup protein sentezi, çiçeklenme gibi kimyasal sentezler üzerinde etkili olmaktadır. Klorofiller tarafından en çok absorbe edilen ışınlar mavi olmasına karşın kırmızı-turuncu ışınlarla kıyasla fizyolojik aktiviteleri daha azdır. 490-595 nm arasında dalga boyuna sahip olanlar, *yeşil-sarı ışınlar* olarak adlandırılır. Bu ışınların fotosentezde etkin rol oynamamalarının sebebi ise klorofil tarafından absorbe edilmemeleri ve bitki yaprakları tarafından yansıtılmalarıdır. Dalga boyları 595-700 nm arasında olanlar ise *turuncu-kırmızı ışınlar* olarak adlandırılır. Bu ışınlar optimum bir düzeyde olduğu zaman bitkilerin organik madde üretimi en yüksek düzeyde olmaktadır (Gökmen, 2017). Renklere göre dalga boyu dağılımı grafiği **Şekil 3.9**'da görülmektedir.

Işığın biyolojik etkisi de dalga boyuna ve içerdiği enerji miktarına bağlı olmaktadır (McCree, 1973). Bitki tarafından alınan ışık enerjisi, bir takım tepkimeler sonucunda tarımsal yönden nihai olarak biyokütle ve meyveye dönüştürülmektedir. Fotosentez, ışık dalga boyunun fonksiyonu olan fotokimyasal bir süreçtir. Fotosentezle ilgili olan bir diğer nokta da, ortama başka dalga boyundaki ışığın eklenmesi fotosentez hızını artırabilmektedir. Bu durum yapay aydınlatmada göz önüne alınması gereken önemli hususlardandır (Yağcıoğlu 1986). Bitkisel üretimde yapay ışık kaynaklarının kullanımı güneş ışığını desteklemek amacıyla olduğu gibi, güneş ışığı olmayan yetiştirme kabinleri veya dolaplarında da olabilmektedir (Koç vd., 2009). Bitki yetiştirme odalarında ve bitki yetiştirme kabinlerinde çoğunlukla flüorışıl lambalar kullanılmaktadır. Öte yandan bu lambalar, sadece soğuk ya da sıcak beyaz ışık verme özelliğinde olup, tayfin görünür bölgesinde ve az bir miktar da IR ile UV ışınım vermektedirler. LED ışık kaynaklarında morötesinden kızılötesine kadar uzanan geniş bir aralıkta ışınım üretimi olması bu çalışmalar açısından oldukça iyi olanaklar

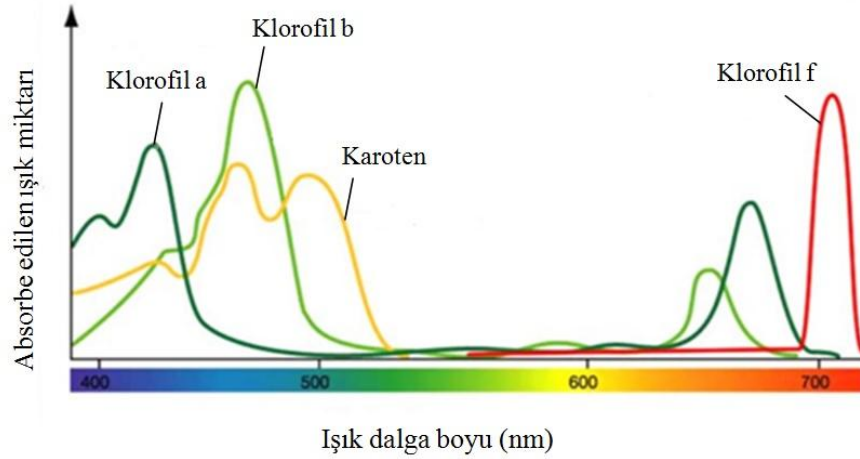
sağlamaktadır. Son yıllarda, özellikle görünür ve morötesi bölgede ışık elde edilmesiyle birlikte bitkisel üretime yönelik araştırma çalışmalarında büyük bir artış görülmektedir. (Miyashita vd., 1995, Çağlayan, 2015).

Fotosentez için olmazsa olmaz olan yapraklar bitkilerin en önemli organlarından biridir. Yaprakların fotosentez kabiliyetleri, yani ışık kullanım etkinlikleri, yeşil renk pigmenti olan klorofil konsantrasyonu ile doğru orantılıdır (Kırbay, 2015). Klorofil oluşumu; bitkilerin inorganik maddelerden organik maddeler üreterek büyüyüp gelişebilmelerinin, yani ototrofik yapılarını ortaya koyabilmelerinin temelini oluşturmaktadır (Katsuhara, 1990). Klorofiller fotoelektrik etkisine benzer bir uyarılma işlemi ile fotonları absorbe etmektedir. Bu pigmentler porfirin halkası denilen karmaşık bir halka ve tek veya çiftli bağlar içermektedir. Halkanın merkezinde Mg^{++} atomu bulunmaktadır (**Şekil 3.8**) (Çiftçi. 2014). Klorofilin 20 civarında çeşidi bulunmaktadır, en önemlileri klorofil a ve klorofil b'dir. Işık bu renk pigmentlerinin oluşabilmesi için temel ihtiyaçtır. Klorofil a ve klorofil b moleküllerinin absorbe ettiği ışıklar farklı spektrumdadır (**Şekil 3.9**).



Şekil 3.13 Klorofilin yapısı (Chen, 2018)

Işığın etkilediği bir başka parametre ise karoten denilen maddedir. Bitkilerde bulunan, açık sarı-kırmızı arası renkleri veren pigmentlere karoten denilmektedir. Karotenoidlerden bazıları A vitamini ön maddesi olarak aktivite gösterirler ve bu sebeple insan vücudu için gerekli olan A vitamininin sentezi açısından önem arz ederler. Karoten türlerinden biri olan beta karoten; kansere karşı koruma, immün cevabı arttırma, tümör gelişimini inhibe etme, antioksidan, fotosentez sırasında zararlı ışığa karşı fotokoruma gibi özelliklere sahiptir (Kahyaoğlu, 2007).



Şekil 3.14 Klorofil ve karotenin absorpsiyon spektrumu (Çiftçi, 2014)

Bitki hücreleri, yapıları değiştirilmiş iyonların oluşturduğu tuz eriyiklerini içerir. Bu eriyikler, bitkiler zarar gördüklerinde veya gelişme dönemindeyken, hücreden dışarıya sızabilir (Yahyaoglu ve Genç, 2007). Sağlıklı hücre, iyonlardan arındırılmış bir suya batırıldığında, değişik iyonlar içeren hücre içeriğinde, suya doğru hafif bir hareketlenme olur ve iyonlar suya geçerek bir çözelti oluşturur. Bu çözeltideki iyon (başlıca K^+) yoğunluğu, bir iletken ölçer (*conductivity meter*) kullanılarak tespit edilebilir. Hücre membranı parçalanırsa yahut membranın işlevi bozulursa, hücre içeriği büyük oranda damıtık (saf) suya sızar. Dolayısıyla, elektrolit sızıntı oranı, hücre membranlarında meydana gelen zarar durumunu ortaya koyan hassas bir değerdir (McKAY, 1991). Işık, hücre yapısı ve dayanıklılığını etkileyen parametrelerden biri olması nedeniyle elektrolit sızıntı miktarını da etkilemektedir.

4. MATERYAL ve YÖNTEM

4.1. Materyal

Disiplinler arası yapılan bu çalışmada kullanılan materyaller, aydınlatma ve biyoloji materyalleri olacak şekilde iki grupta toplanabilir. Aydınlatma materyalleri: 3 farklı renk sıcaklığında (2000°K, 3000°K ve 6000°K) LED armatürleri, ortamın ve armatürlerin CCT, CRI ve LUX değerlerini ölçmek için temin edilen spektrofotometre cihazı (**Şekil 4.1**) ve güç kaynaklarıdır. Biyoloji materyalleri ise: verimli araziden alınmış toprak, arpa (*Hordeum vulgare* L.) ve buğday (*Triticum aestivum* L.) tohumlarıdır. Kullanılan cihazlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

Spektrofotometre	:UPRTek
Güç kaynağı	: Tecmo Power Supply (output: 12V DC)
LED armatürler	: 2000°K, 4000°K ve 6000°K renk sıcaklığına sahip
Multimetre cihazı	: Mastech
Spektrofotometre küveti	: Perkin ElmerLambda 35 UV/VIS, Genesys 20
Hassas terazi	: AXIS
Otomatik pipetler	: Socorex
Buzdolabı	: Arçelik
Soğutmalı santrifüj	: H-2050 R
Derin dondurucu (-30 °C)	: HotpointAriston UPS 1711(TK)HA
pH metre	: Hanna pH metre
Manyetik karıştırıcı	: WiseStir MSH-20A
Sıcak su banyosu	: Mrc WBT-200



Şekil 4.1 Spektrofotometre cihazı

4.2. Yöntem

Bu çalışma, Erzincan Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi biyoloji laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, aydınlatılacak düzlemler için 2000°K, 3000°K ve 6000°K'lik LED armatürler tasarlanarak, tasarım aşamasında CCT, CRI ve LUX değerleri spektrofotometre yardımıyla ölçülmüştür (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Armatür montajı ve ölçümleri

Tasarlanan armatürler kasalı beyaz şerit LED armatürlerdir (Şekil 4.3).



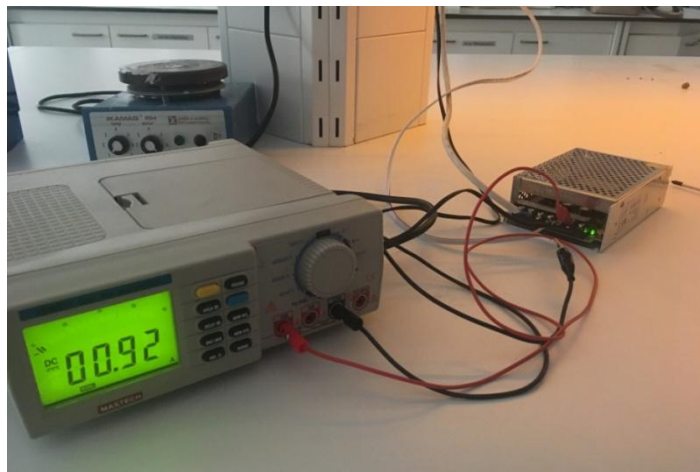
Şekil 4.3 Kasalı şerit LED

Bu armatürler 12V DC gerilim üreten güç kaynaklarıyla beslenmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Armatürlerin beslemesi ve güç kaynağı

Armatürlerin çektiği akım, multimetre yardımıyla 0,92A olarak ölçülmüştür (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Multimetre ile armatürlerin akım ölçümü

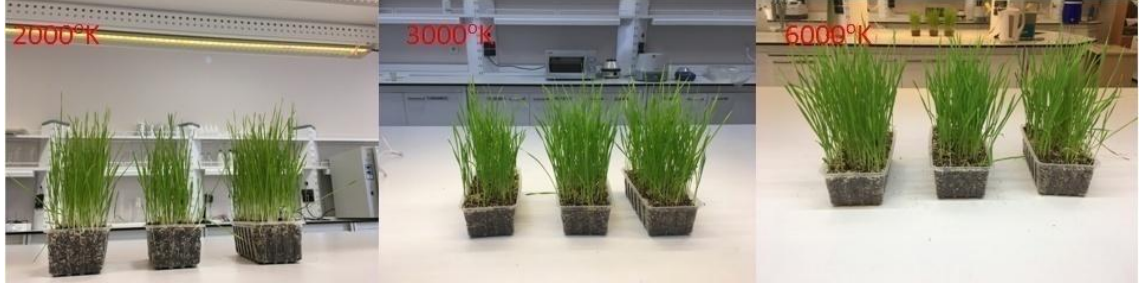
Ölçümler ve tasarımdan sonra farklı CCT değerine sahip armatürler *Triticum aestivum* L. ve *Hordeum vulgare* L. yetiştirilecek çalışma düzlemlerine ayrı ayrı monte edilmiştir.

Deney saksılarına konulan malzemenin 2/4'ü toprak, 1/4'ü gübre ve 1/4'ü perlit karışımından oluşturulmuştur. Bu çalışma için kullanılan toprak, Erzincan'ın tarımsal faaliyetlerin gerçekleştiği, kirlilikten uzak verimli arazilerden getirilen topraktır. 750 g tartılan karışım, laboratuvar ortamındaki 1 kg'lık plastik saksılara konulmuştur. Daha sonra 7 g buğday ve 5 g arpa tohumu tartılarak ekim yapılmış ve üzeri 100 g karışım ile örtülmüştür. Her bir uygulama için 3 tekerrür hazırlanarak tarla kapasitesine uygun olarak sulama işlemi yapılmıştır (**Şekil 4.6**).



Şekil 4.6 Ekim yapılmış saksılar

Saksılar 2000°K, 3000°K ve 6000°K renk sıcaklığına sahip LED armatür düzenekleri altında günlük yaklaşık 13 saat ışığa maruz bırakılmıştır. Buğday (**Şekil 4.7**) 15 gün, arpa (**Şekil 4.8**) ise 11 gün yetiştirildikten sonra hasat edilmiştir. Farklı renk sıcaklığında yetiştirilen örnekler tartılıp ölçülerek yaş ağırlıkları ve uzunlukları tespit edilmiştir. Daha sonra elektrolit sızıntı, klorofil düzeyleri ve mineral element konsantrasyonları belirlenmiştir.



Şekil 4.7 Farklı renk sıcaklığı altında buğday bitkileri



Şekil 4.8 Farklı renk sıcaklığı altında arpa bitkileri

4.2.1. Hücre zarındaki elektrolit sızıntı miktarının belirlenmesi

6 deney tüpünün her birine saf sudan geçirilmiş 0.1 g taze bitki numunesi (yaprak) konulmuş ve bu tüpler içine 4 ml saf su konularak 4 °C’de 24 saat bekletilmiştir. Daha sonra tüplerin içerisindeki saf suya geçen iyon miktarı, bir elektrik kondüktivimetre ile ölçülerek elektrolit sızıntısı ile hücrelere verilen hasar arasında paralellik kurulmuştur (Griffith et al. 1992). Gerekli işlemler yapılarak buğday ve arpa bitkilerinin elektrolit sızıntı miktarları tespit edilmiştir (**Şekil 4.9**).



Şekil 4.9 Elektrolit sızıntı ölçümü

4.2.2. Klorofil miktarı tayini

Klorofil miktarı için 0,5 g yaprak alınarak 5 mL %80 lik aseton içinde homojenize edilerek homojenat elde edilerek, bu homojenat filtre kağıdında süzölmüş ve 10 mL'ye tamamlanmıştır. Homojenat 5 dakika santrifüj edilmiş, süpernatant kısmı alınarak 663, 646 ve 440 nm absorbands değeri okunmuştur (Şekil 4.10).

Klorofil miktarının hesaplanması için;

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

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

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

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

formülleri kullanılmıştır. Sonuçlar mg/ml seklinde sunulmuştur (Porra vd., 1989).



Şekil 4.10 Klorofil miktarı tayini

4.2.3. Element alımı tayini

Yetiştirilen buğdaylar 15. arpalar ise 11. günün sonunda hasat edildikten sonra 80 °C 'ye ayarlanmış etüv içinde bir gün boyunca kurutulmuştur. Kurutma işleminden sonra havanda toz haline getirilen örnekler ayrı ayrı poşetlere konulup isimlendirilerek saklanmıştır (**Şekil 4.11**). Toz haline getirme işlemi sırasında örneklerin tozlarının birbirine karışmaması için her bir örneğin toz haline getirme işleminden sonra havan etil alkol ile temizlenmiştir. Bitki numunelerinden 0,5'er g tartılarak teflon hücrelere konulup, örnekler içine 10 mL % 65'lik HNO₃ ilave edildikten sonra 180 °C'de ve 280 PSI basınçtaki mikrodalga cihazı içinde yirmi dakika boyunca yakılarak soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan hücreler içerisindeki numunelerin üzerleri, saf su ile 50 ml'ye tamamlanmış daha sonra filtre kağıdından süzülerek ICP-OES cihazında uygun dalga boylarında okunmuştur (Osma vd., 2013).



Şekil 4.11 Element alımı tayini için toz haline getirme işlemi

4.2.4. İstatistiksel analizler

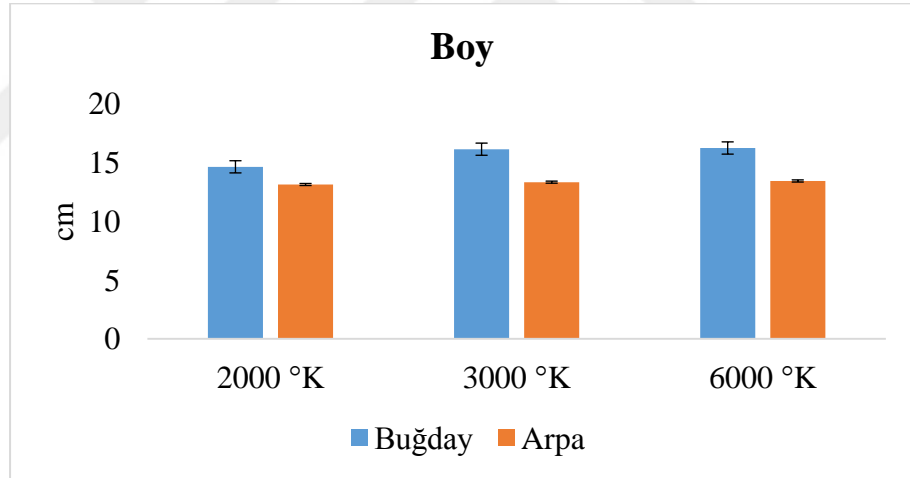
Yapılan çalışma sonucunda elde edilen veriler istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Ortalamaların istatistiksel karşılaştırılmasında $p \leq 0.05$ değeri anlamlı olarak kabul edilmiştir. SPSS 22 Paket İstatistik Programı ile %95'lik güven aralığında ANOVA testi ve çoklu karşılaştırmalarda bitki ve toprak örneklerinin alınmış olduğu lokaliteler arasındaki farklılığın belirlenmesi için LSD ve Dunnett t (2-sided) testi kullanılmıştır.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde, LED armatürlere geniş bir kullanım alanı sunan renk sıcaklığı özelliklerinden faydalanılarak yapılan bu çalışmanın bulguları verilmiştir. Laboratuvar ortamında, 3 farklı renk sıcaklığına (2000, 3000, 6000 °K) sahip LED armatürler altında yetişen arpa ve buğday bitkilerinin boy, ağırlık, klorofil miktarı, karoten miktarı, elektrolit sızıntı ve topraktan Mg⁺⁺ (Magnezyum) alımı miktarı verileri sunulmuştur. Aynı zamanda, elde edilen bulgular grafiklerle gösterilmiş ve analiz edilmiştir.

5.1. Arpa ve Buğday Bitkisinin Boy Verileri

Yetiştirilen arpa ve buğday bitkilerinin yapraklarından, hasattan hemen sonra yeterli miktarda alınarak boyları ölçülmüş ve boy değerleri cm cinsinden **Şekil 5.1**'deki grafikte gösterilmiştir.

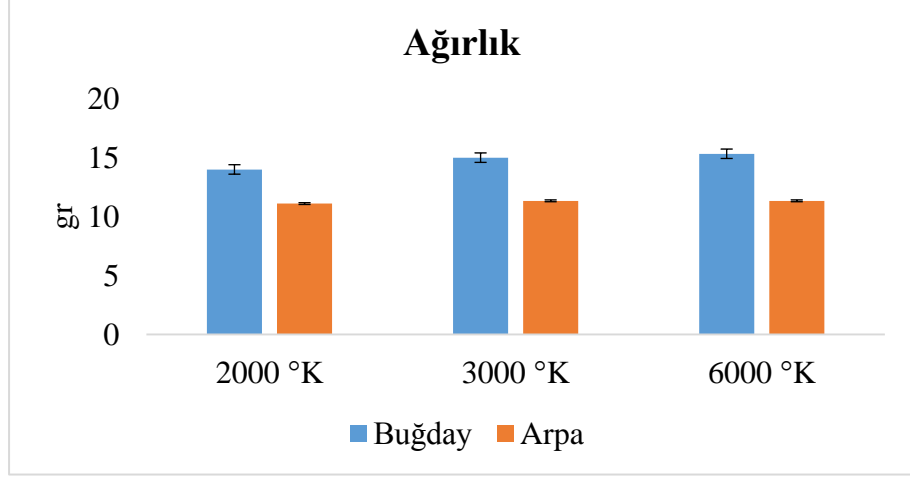


Şekil 5.1 Buğday ve arpa bitkilerinin boy verileri grafiği

2000 °K'de buğday bitkisinin yapraklarından alınan boy ölçülerinin ortalaması 14,6 cm, 3000 °K'de 16,1 cm, 6000 °K'de ise 16,2 cm'dir. Aynı şekilde arpa bitkisi için bu değerler: 2000 °K'de 13,1 cm, 3000 °K'de 13,3 cm, 6000 °K'de ise 13,4 cm'dir.

5.2. Arpa ve Buğday Bitkisinin Ağırlık Verileri

Yetiştirilen arpa ve buğday bitkilerinin yaprakları, hasattan hemen sonra tartılmış ve ağırlıkları g cinsinden **Şekil 5.2**'deki grafikte gösterilmiştir.



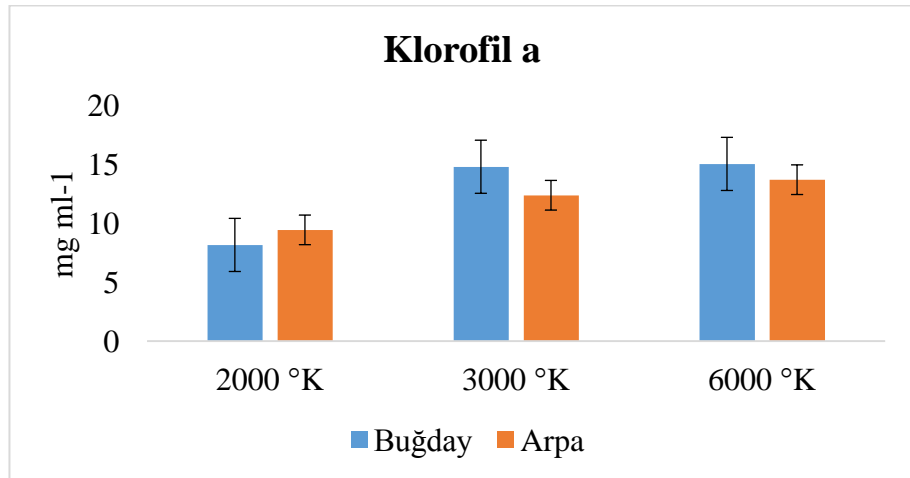
Şekil 5.2 Buğday ve arpa bitkilerinin ağırlık verileri grafiği

2000 °K’de yetiştirilen buğday bitkisinin hasattan hemen sonra tartılan yapraklarının ağırlıkları 14 g, 3000 °K’de 15 g, 6000 °K’de ise 15,3 g’dır. Aynı şekilde arpa bitkisi için bu değerler: 2000 °K’de 11,1 g, 3000 °K’de 11,3 g, 6000 °K’de ise 11,3 g’dır.

5.3. Buğday ve Arpa Bitkileri Klorofil ve Karoten Miktarları

Bu işlem için arpa ve buğday bitkilerinden gerekli miktarda yaprak örneği alınarak klorofil ve karoten miktarı tayini için gerekli işlemler yapılmış ve aşağıdaki grafiklerde gösterilen sonuçlara ulaşılmıştır.

Buğday ve arpa bitkilerinden elde edilen klorofil a değerlerine göre çizilen grafik **Şekil 5.3**’te verilmiştir.

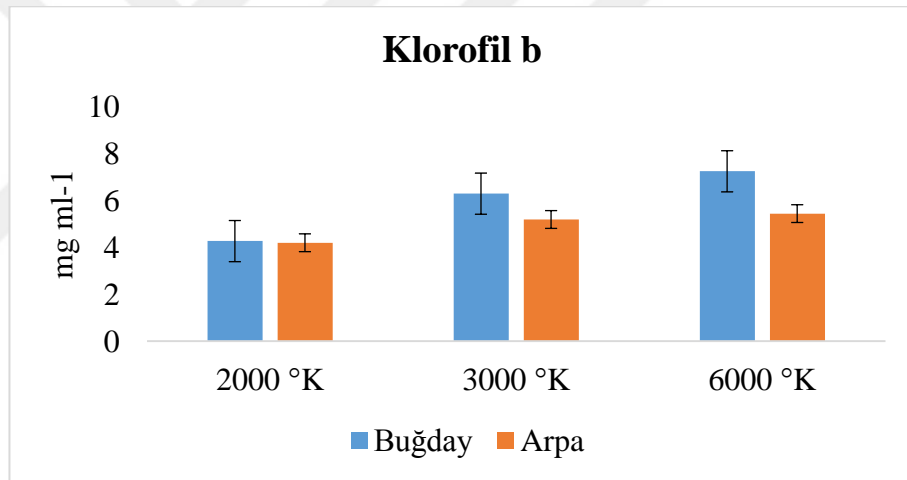


Şekil 5.3 Buğday ve arpa bitkilerinin klorofil a verileri grafiği

Yapılan istatistiksel analiz programı sonuçlarına göre 2000 °K’de, buğday bitkisinin klorofil a değeri $8,15 \pm 0,63 \text{ mg ml}^{-1}$, arpa bitkisinin klorofil a değeri $9,3 \pm 0,37 \text{ mg ml}^{-1}$. 3000 °K’de buğday bitkisi klorofil a değeri $14,7 \pm 0,3 \text{ mg ml}^{-1}$, arpa bitkisi klorofil a değeri $12,4 \pm 0,2 \text{ mg ml}^{-1}$ ’dir. Yine aynı şekilde 6000 °K’de buğday bitkisi klorofil a değeri $15 \pm 0,2 \text{ mg ml}^{-1}$, arpa bitkisi klorofil a değeri $13 \pm 0,3 \text{ mg ml}^{-1}$ ’dir.

Klorofil a için buğday ve arpa bitkilerinin analiz sonuçlarının anlamlılık durumlarına bakılırsa: Buğday bitkisinde, 3000 °K ile 6000 °K arasında anlamlı farklar yokken 2000 °K ile diğerleri arasında çok anlamlı farklar vardır. Arpa bitkisinde 2000 °K ile diğer sıcaklıklar arasında anlamlı farklar varken 3000 °K ile 6000 °K arasında az anlamlı fark görülmektedir.

Klorofil b için elde edilen sonuçlara göre çizilen grafik ise Şekil 5.4’teki gibidir.



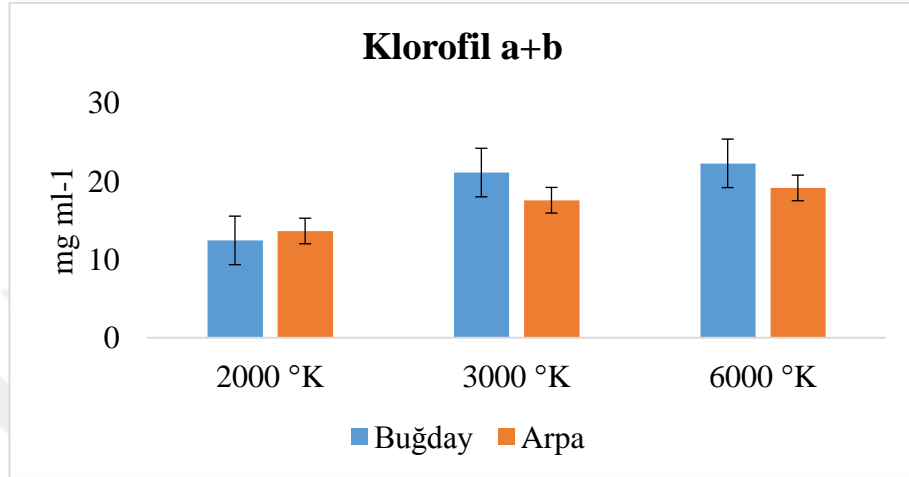
Şekil 5.4 Buğday ve arpa bitkilerinin klorofil b verileri grafiği

İstatistiksel analizin sonuçlarına göre buğday bitkisi için 2000 °K’de klorofil b değeri $4,2 \pm 0,3 \text{ mg ml}^{-1}$ ’dir. 3000 °K’de klorofil b değeri $6,2 \pm 0,8 \text{ mg ml}^{-1}$, 6000 °K’de ise klorofil b değeri $7,2 \pm 2,4 \text{ mg ml}^{-1}$ ’dir. Arpa bitkisi için 2000 °K’ de klorofil b değeri $4,5 \pm 0,6 \text{ mg ml}^{-1}$, 3000 °K’de klorofil b değeri $5,2 \pm 0,2 \text{ mg ml}^{-1}$, 6000 °K’de klorofil b değeri $5,4 \pm 0,2 \text{ mg ml}^{-1}$ ’dir.

Klorofil b değerleri için analiz sonuçlarının anlamlılık durumlarına bakarsak: Buğday bitkisi için 2000 °K ile diğer sıcaklıklar arasında anlamlı bir fark varken 3000 °K ile 6000 °K arasında anlamlı bir fark görülmemektedir. Arpa bitkisi için tüm renk

sıcaklıkları arasında anlamlı farklar yoktur ancak 3000 °K ile 6000 °K'deki değerlerin diğer kıyaslamalara nazaran daha yakın değerler olduğu görülmektedir.

Arpa ve buğday bitkilerinden elde edilen klorofil a+b değerleri **Şekil 5.5**'teki grafikte verilmiştir.

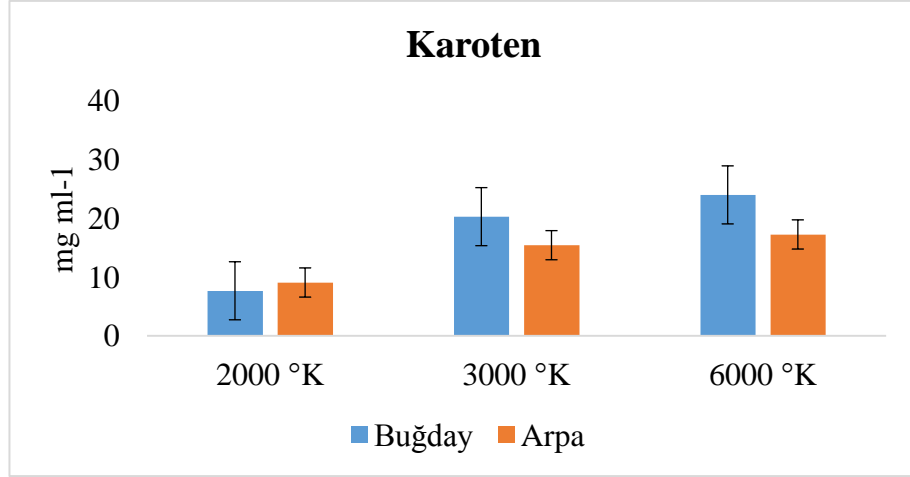


Şekil 5.5 Buğday ve arpa bitkilerinin klorofil a+b verileri grafiği

İstatistiksel analizin sonuçlarına göre buğday bitkisi için 2000 °K'de klorofil a+b değeri 12,4±0,7 mg ml⁻¹'dir. 3000 °K'de klorofil a+b değeri 21±0,8 mg ml⁻¹'dir. 6000 °K'de ise klorofil a+b değeri 22,2±0,8 mg ml⁻¹'dir. Arpa bitkisi için: 2000 °K'de klorofil a+b değeri 13,8±0,4 mg ml⁻¹, 3000 °K'de klorofil a+b değeri 17,7±0,5 mg ml⁻¹, 6000 °K de ise klorofil a+b değeri 19,1±0,5 mg ml⁻¹'dir.

Klorofil a+b değerleri için analiz sonuçlarının anlamlılık durumları: Buğday bitkisi için 2000 °K deki değerler ile diğer sıcaklıklardaki değerler arasında çok anlamlı farklar görülmekte olup, 3000 °K ile 6000 °K arasında anlamlı bir fark görülmemiştir. Arpa bitkisi için 2000 °K deki değerler ile diğer sıcaklıklardaki değerler arasında anlamlı farklar görülmekte olup, 3000 °K ile 6000 °K arasında anlamlı bir fark görülmemiştir.

Buğday ve arpa bitkileri elde edilen karoten değerleri **Şekil 5.6**'daki grafikte gösterilmiştir.



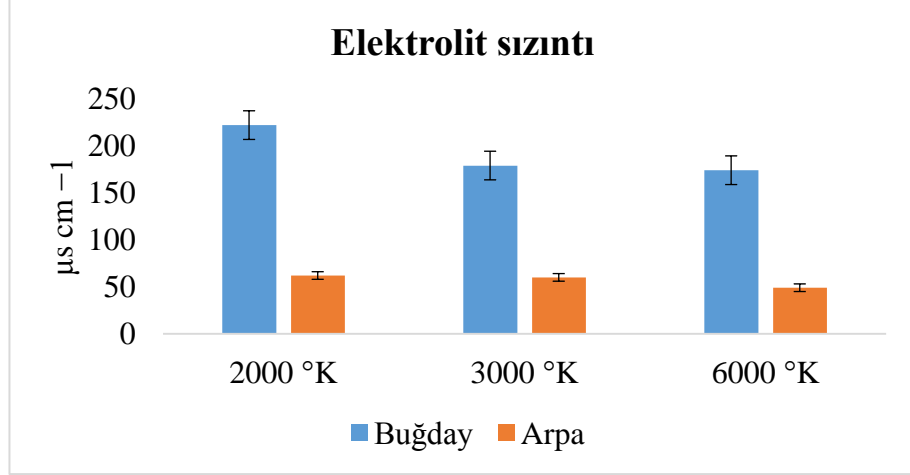
Şekil 5.6 Buğday ve arpa bitkilerinin karoten verileri grafiği

Şekil 5.6'daki grafikte de görülen, istatistiksel analiz sonuçlarına göre buğday bitkisi için 2000 °K'de karoten değeri $7,6\pm 0,8$ mg ml⁻¹, 3000 °K'de karoten miktarı $21,6\pm 3,1$ mg ml⁻¹, 6000 °K'de ise karoten miktarı $23,9\pm 1,4$ mg ml⁻¹'dir. Arpa bitkisi için 2000 °K'de karoten değeri $10,3\pm 1,6$ mg ml⁻¹, 3000 °K'de karoten miktarı $15,8\pm 1,1$ mg ml⁻¹, 6000 °K'de ise karoten miktarı $16,3\pm 1,8$ mg ml⁻¹'dir.

Karoten değerleri için analiz sonuçlarının anlamlılık durumlarına bakarsak: Buğday bitkisi için 2000 °K'deki değerlerle diğer sıcaklıklardaki değerler arasında çok anlamlı farklar görülmekte ancak 3000 °K ile 6000 °K'deki değerler arasında anlamlı bir fark görülmemektedir. Arpa bitkisi için 2000 °K'deki değerlerle diğer sıcaklıklardaki değerler arasında anlamlı farklar görülmekte ancak 3000 °K ile 6000 °K'deki değerler arasında anlamlı bir fark görülmemektedir.

5.4. Buğday ve Arpa Bitkileri Elektrolit Sızıntı Miktarları

Elektrolit sızıntı ölçümü yapılan arpa ve buğday bitkilerinin e-sızıntı miktarları Şekil 5.7'deki grafikte gösterildiği gibidir.



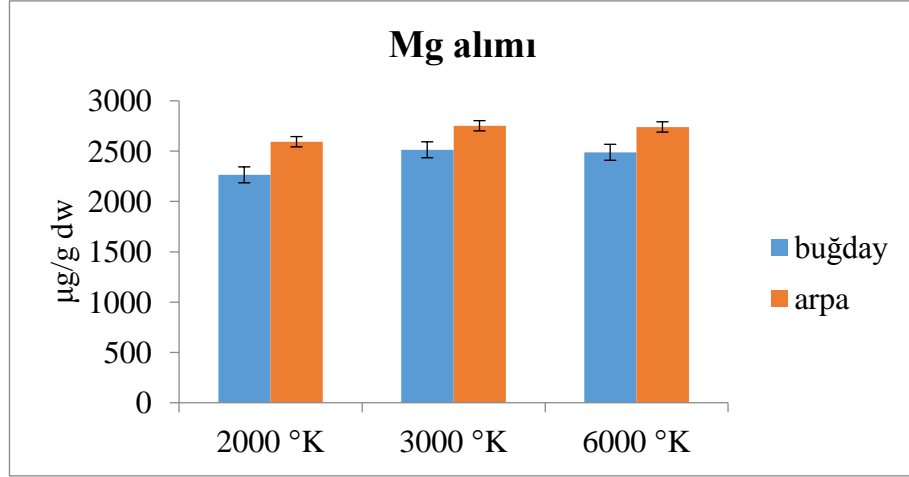
Şekil 5.7 Buğday ve arpa bitkilerinin elektrolit sızıntı verileri grafiği

Şekil 5.7'deki grafikte de görülen, istatistiksel analiz programına göre buğday bitkisi için; 2000 °K'de elektrolit sızıntı değeri $222 \pm 14,2 \mu\text{s cm}^{-1}$, 3000 °K'de elektrolit sızıntı değeri $179 \pm 11,7 \mu\text{s cm}^{-1}$, 6000 °K'de ise elektrolit sızıntı değeri $174 \pm 12,5 \mu\text{s cm}^{-1}$ 'dir. Arpa bitkisi için; 2000 °K'de elektrolit sızıntı değeri $62 \pm 3,9 \mu\text{s cm}^{-1}$, 3000 °K'de elektrolit sızıntı değeri $60 \pm 1,1 \mu\text{s cm}^{-1}$, 6000 °K'de ise elektrolit sızıntı değeri $49 \pm 2,4 \mu\text{s cm}^{-1}$ 'tür.

Elektrolit sızıntı değerleri için analiz sonuçlarının anlamlılık durumlarına bakarsak: Buğday bitkisi için 2000 °K ile diğer sıcaklıklar arasında çok anlamlı farklar varken 3000 °K ile 6000 °K arasında anlamlı bir fark görülmemektedir. Arpa bitkisi için 2000 °K ile diğer sıcaklıklar arasında anlamlı farklar varken 3000 °K ile 6000 °K arasında anlamlı bir fark görülmemektedir.

5.5. Buğday ve Arpa Bitkilerinin Topraktan Mg Alımı Miktarları

Element alımı tayini yapılan arpa ve buğday bitkilerinin topraktan Mg alımı miktarları Şekil 5.8'deki grafikte gösterildiği gibidir.



Şekil 5.8 Buğday ve arpa bitkilerinin topraktan Mg alımı miktarları

Şekil 5.8'deki grafikte de görülen, istatistiksel analizin sonuçlarına göre buğday bitkisi için; 2000 °K'de topraktan alınan Mg miktarı $2264,01 \pm 87,73 \mu\text{g/g dw}$, 3000 °K'de topraktan alınan Mg miktarı $2513,25 \pm 16,67 \mu\text{g/g dw}$, 6000 °K'de ise topraktan alınan Mg miktarı $2488,5 \pm 66,39 \mu\text{g/g dw}$ 'dir. Arpa bitkisi için; 2000 °K'de topraktan alınan Mg miktarı $2593,2 \pm 131,2 \mu\text{g/g dw}$, 3000 °K'de topraktan alınan Mg miktarı $2751,9 \pm 225,3 \mu\text{g/g dw}$, 6000 °K'de ise topraktan alınan Mg miktarı $2740,13 \pm 152,2 \mu\text{g/g dw}$ 'dir.

Topraktan alınan Mg miktarları için analiz sonuçlarının anlamlılık durumlarına bakarsak: Buğday bitkisi için 2000 °K ile diğer sıcaklıklar arasında az da olsa anlamlı farklar varken 3000 °K ile 6000 °K arasında anlamlı bir fark görülmemektedir. Arpa bitkisi için ise hiçbir sıcaklık değeri arasında anlamlı bir fark görülmemektedir (**Tablo 5.1**).

Tablo 5.1 Buğday ve arpa değerlerinin anlamlılık durumları

Değerler/Anlamlılık	Buğday	Arpa
Klorofil a	***	***
Klorofil b	**	*
Klorofil a+b	***	***
Karoten	***	***
Elektrolit sızıntı	***	***
Mg alımı	*	nd

6. TARTIŞMA

Chen vd. (2017), çalışmalarında, kırmızı ve mavi LED aydınlatmanın farklı aralıklarla uygulanmasının marulun büyüme ve beslenme özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Kırmızı ve mavi LED ışığını alternatif modlarda bitki üzerine uygulamış ve kırmızı-mavi ışık ilişkisini açıklayabilmek için çeşitli yöntemler araştırmışlardır. Bu çalışmada, beyaz LED armatürleri kullanılarak LED ışığının renginden ziyade renk sıcaklığı özelliğinden yararlanılmıştır. Armatürün renk sıcaklığı değiştikçe bitkide meydana gelen değişimler incelenmiş ve her bir renk sıcaklığı altında yetişen bitki diğerleriyle kıyaslanmıştır.

Jung vd. (2013), farklı LED ışıkları altında yetiştirilen pirinç yapraklarının (*Oryza sativa* cv. Ilmi) kısa süreli tepkilerinin metabolik profili ve antioksidan aktiviteleri ile korelasyonlarını belirlemeye yönelik çalışmalarında mavi, yeşil, kırmızı, beyaz LED ve gölge ortamı kullanmışlardır. Farklı renk LED'ler altında ve gölgede yetiştirilen pirinç bitkisindeki birtakım kimyasal değişimleri analiz etmişlerdir. Bu çalışmada, LED armatürlerin renginden değil renk sıcaklığından yararlanılarak bitkiler yetiştirilmiş ve bitkideki birtakım morfolojik ve kimyasal değişimler analiz edilmiştir.

Köksal (2013) çalışmasında kırmızı-turuncu LED ışığının bitki boyu, yaprak sayısı, çiçek sayısı ve biomas ağırlığı üzerinde farklılıklar yarattığı sonucuna ulaşmışken bu çalışmada renk sıcaklığı daha yüksek LED ışığının düşük renk sıcaklığına sahip LED ışığa oranla bitki boyu ve ağırlığını arttırdığı tespit edilmiştir.

Sang-Won Lee vd. (2014), çalışmalarında buğday bitkisi yetiştirmede LED kullanıldığında fenolik bileşiklerin seviyelerinin artma eğilimde olduğunu görmüşlerdir. Bu çalışmada kullanılan beyaz LED armatürlerin renk sıcaklığı arttıkça bitkide bulunan klorofil ve karoten miktarında artma olduğu gözlenmiştir.

Bourget ve Morrow (2008) çalışmalarında ışık yayan diyot (LED) aydınlatma sistemlerinin, spektral kompozisyon, küçük boyut, dayanıklılık, uzun çalışma ömrü, dalga boyu özgüllüğü ve elektrik giriş akımıyla doğrusal olan foton çıkışı kontrol etme yeteneği gibi birçok avantaja sahip olmalarına bağlı olarak bitki aydınlatma tasarımlarında kullanım için ideal olduklarını ve daha optimal üretim sağlamak, bitki morfolojisi ve metabolizmasını etkilemek için dalga boylarının bitki fotoreseptörleri ile

uyuşmasına izin verdiklerini belirtmişlerdir. Bu çalışmada, diğer armatürlere göre üstün özelliklere sahip LED armatürlerin renk sıcaklığı arttıkça bitkinin topraktan aldığı magnezyum elementi miktarının az da olsa arttığı ve hücrelerde meydana gelen elektrolit sızıntı miktarını azalttığı görülmüştür.

Choi vd. (2015), çalışmalarında, üç farklı dalga boyunda (mavi, kırmızı ve mavi-kırmızı), LED ışığı kullanarak meyvenin kalitesini belirleyen fitokimyasalların üretimini ve olgun çilek bitkilerinin yetiştirme sırasında büyüme özelliklerini incelemeyi amaçlamışlardır. Yetiştirme, tek ışık kaynağı olarak LED'in kullanıldığı bir büyüme odası (growth chamber, GC) ve ortam ışığına ek olarak LED ışığı verilen bir plastik sera (plastic greenhouse, PG) olmak üzere iki ayrı yerde gerçekleştirilmiştir. GC'de LED ışık altında yetiştirilen bitkilerin yapraklarının, PG'de yetiştirilenlere kıyasla yüksek seviyelerde klorofil sergiledikleri kaydedilmiştir. Buna karşılık, ek LED ışıkları ile PG'de yetiştirilen bitkiler, GC'de yetiştirilenlerden çok daha fazla meyve üretimi vermiştir. Ayrıca, PG'lerde hasat edilen meyvelerin, GC'de hasat edilenlerden daha yüksek seviyede organik asit içerdiği gösterilmiştir. Farklı LED ışıkların etkileri incelendiğinde, ortam ışığına mavi LED ışığı veya kombine mavi-kırmızı LED ışığı eklendiğinde, PG'de dikkate değer ölçüde daha yüksek bir meyve üretimi elde edilmiştir. Ayrıca, ortam ışığının hem kırmızı LED ışığı hem de kombine mavi-kırmızı LED ışıkları ile desteklendiği zaman PG'de yetiştirilen meyvelerde fenolik bileşikler gibi organik asitlerin ve fitokimyasalların daha fazla birikiminin gözlemlendiği de belirtilmiştir. Bu çalışmada, farklı renk sıcaklığına sahip LED'ler altında yetiştirilen buğday ve arpa bitkilerindeki parametreler değerlendirilmiş ve CCT değeri yüksek yani soğuk renk sıcaklığına sahip olan LED altındaki bitkilerin yapılarında bulunan Mg elementi miktarı, klorofil ve karoten miktarında artışlar gözlemlenmiştir.

Yeh ve Chung (2009), çalışmalarında yüksek parlaklıkta LED'lerin enerji verimli aydınlatma kaynakları olması özelliğinden yararlanarak iç mekan bitki yetiştiriciliğindeki potansiyel etkilerini araştırmışlardır. Enerjinin yükselen maliyetini göz önüne alarak yüksek enerji verimliliği sağlayan LED'lerin, uzay tabanlı bitki araştırma odası veya biyo-üretken yaşam destek sistemleri için birincil ışık kaynağı olduğunu önermişlerdir. Bu çalışmada, LED'lerin renk sıcaklığı özelliğinden yararlanılmasının dışında sağladığı avantajlardan biri olan enerji verimliliği özelliğinden de yararlanılarak LED armatürü tercih edilmiştir.

Şenol vd. (2016), LED'le aydınlatılan bitki büyüme ünitelerinin farklı çalışma modlarının karanfil üzerindeki etkisi incelemişlerdir. Tünel tipi tam otomatik sera ortamında gerçekleştirilen bu çalışmada farklı dalga boylarında LED ışınlarını PWM (Pulse Width Modulation, Darbe Genişlik Modülasyonu) yöntemi kullanılarak farklı modlarda uygulamışlardır. Her bir ışık kombinasyonu altında karanfilin gelişimi, büyümesi ve çiçeklenme aşamalarındaki morfolojik ve fizyolojik değişiklikleri gözlemişler ve sonuçları, bir serada güneş altında yetiştirilen karanfillerle karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada renk sıcaklığı farklı LED armatürler altında yetiştirilmek üzere buğday ve arpa bitkileri günde yaklaşık 13 saat ışığa maruz bırakılarak izlenmiştir. Bitkilerin çeşitli parametreleri analiz edilerek birbirleriyle kıyaslanmıştır.

Xu vd. (2016), bitkiler için ek aydınlatma sistemi olarak LED kullanımı üzerine yaptıkları araştırmada LED ışık kaynağını kullanarak çeri domatesinin büyüme oranını iyileştirmek için, kırmızı ve mavi (nispi spektral dağılımlı) LED aydınlatma sistemi tasarlamışlardır. Yetişen çeri domateslerinin büyüme durumunu LED ek aydınlatma sistemi olmayan ortamda yetişen çeri domatesleriyle kıyaslamışlardır ve LED ek aydınlatmanın büyüme hızını önemli ölçüde artırdığını gözlemlemişlerdir. Bu çalışmada renkleri aynı ancak renk sıcaklıkları farklı LED armatürleri kullanılmıştır. Bu armatürler altında yetiştirilen buğday ve arpa bitkilerinin büyüme durumları dahil olmak üzere birçok parametresi izlenmiş, analiz edilmiş ve yorumlanmıştır.

7. SONUÇ ve ÖNERİLER

Tarımsal üretimde gün ışığına ilaveten yapay aydınlatma kullanımının en temel amacı ekonomik koşullar altında en uygun nitelikte ışığın sağlanarak tarımsal verimin artırılmasıdır. Yani amaç gelişigüzel ışık kullanmak yerine bitki için ideal koşulları sağlayacak nitelikteki ışığın seçimidir. Literatür taraması kısmında görüldüğü gibi yapılan çalışmalarda farklı renklerde gelişigüzel LED'ler seçilmiş ve bunların etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada ise aydınlatma uygulamalarında en çok kullanılan LED olan beyaz LED armatürler seçilmiş ve konu bir adım öteye taşınarak renk sıcaklığı boyutuna indirgenmiştir. Yani gelişigüzel aydınlatma ortamları yerine fotometrik esaslar göz önüne alınarak oluşturulmuş laboratuvar ortamları altında yetiştirilen bitkiler üzerindeki fizyolojik etkiler araştırılmıştır. Bu araştırmalarda elde edilen verilere göre ışığın bitkiler üzerinde çeşitli etkiler oluşturduğu saptanmıştır. Farklı renk sıcaklığına sahip LED armatürler altında yetiştirilen buğday (*Triticum aestivum* L.) ve arpa (*Hordeum vulgare* L.) bitkilerinin boylarında, ağırlıklarında, klorofil, karoten, elektrolit sızıntı ve magnezyum elementi alımı miktarlarında kayda değer farklılıklar görüldüğü tespit edilmiştir.

Sonuç olarak renk sıcaklığı arttırıldığında boy ve ağırlık değerleri, klorofil, karoten ve magnezyum alımı miktarlarında artışlar görülürken elektrolit sızıntı miktarında azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Neticede CCT değerinin bitki verimi ile doğru orantılı olduğu sonucuna varılmıştır, renk sıcaklığı arttıkça tarımsal verimi arttığı gözlemlenmiştir.

Tarım yetiştiriciliğinde kullanılan yapay aydınlatma yöntemleri, bitkiler için uygun nitelikte bir aydınlatma sağlamak zorundadır. Bu amaçla, kullanılan armatürlerin özellikleri oldukça önemlidir. İstenilen şey, verimi artırmak ve bunu en ekonomik şekilde gerçekleştirmek olduğu için, günümüzde LED'lerin artan kullanımı ile düşen maliyeti bizim için avantaj sağlamaktadır. Önceki bölümler de bahsedildiği gibi LED'ler sahip oldukları birçok avantaj sayesinde tarımsal amaçlı kullanımda verimliliği arttırmak adına tercih edilen ve edilmesi gereken armatürlerdir. Çalışmamızda kullanılan farklı CCT değerlerine sahip LED armatürlerin yüksek renk sıcaklığına sahip yani soğuk ışık kaynağı olanların verimliliği artırdığı gözlenmiş olup tarımda kullanıma uygun olduklarını görülmüştür. Eğer bitki yetiştirme odaları ve kabinlerinde veya doğal

aydınlatmaya ek olarak bir aydınlatma yapılacaksa, temel amaca ulaşmak adına tercih edilmesi gereken armatürler, soğuk ışık kaynağı niteliğini taşıyan LED armatürlerdir.



KAYNAKLAR

- Achuthan, M. K. ve Bhat, K. N. (2008) “Fundamentals of Semiconductor Devices”, *The McGraw-Hill Companies*, 1330.
- Akan, A.E., Selçuk, S.A. (2005) “Ofislerin Aydınlatılmaları Üzerine Bir İnceleme: A Tasarım Mimarlık Ofisi”, *III.Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi*, Ankara, 125-129.
- Akbulut M., Gül Ö. (2009) “LED’li Işık Kaynaklarının Karakteristiklerini Belirlemeye Yönelik Ölçmeler”, *V. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi*, İzmir, 4.1.
- Akın D. (2012) “Diyotların Manyetik Alan Altındaki Elektriksel Özelliklerinin Teorik Olarak İncelenmesi”, Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Muğla, 8-12.
- Anonymous (2011) “Light - Emitting - Diode”, Erişim adresi: http://en.wikipedia.org/wiki/Lightemitting_diode (Erişim Tarihi: 12 Kasım 2011).
- Arik, M., Sharma, R., Jackson, J., Prabhakaran, S., Seeley, C., Utturkar, Y., Weaver, S., Kuenzler, G. and Han B. (2010) “Development of a High-Lumen Solid State DownLight Application”, *IEEE Transactions On Components and Packaging Technologies*, Vol.33, No.4, 668-679.
- Bourget C. M. (2008) “An introduction to light-emitting diodes.” *HortScience* 43, 1944–1946
- Boylestad R. ve Nashelsky L. (2004) “Devre Teorisi” 5. baskı, *Milli Eğitim Basımevi*, İstanbul, 7-10.
- Buget, U. (1983) “PN Eklemi Kristal Diyot ve Tranzistörler”, *Meteksan Yayınları*,180.
- Caner K., Mustafa V., Ali Bülent K., (2009) “LED Aydınlatma Teknolojisi ve Tarımda Kullanımı”, *25. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi*, Antalya, 153-158.
- Chen K. ve Roca M. (2018) “In Vitro Bioavailability of Chlorophyll Pigments From Edible Seaweeds” *Journal of Functional Foods*, 25-33
- 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.
- Çağlayan N. (27-30 Nisan 2011) “ Bitkisel Üretim İçin LED Yetiştirme Lambalarının Kullanımı”, *Uluslararası Katılımlı I. Ali Numan Kılıç Tarım Kongresi ve Fuarı*, Eskişehir, 1227-1232.

- Çağlayan N. (2013) “Seralar İçin Led Lambalı Aydınlatma Otomasyon Sisteminin Tasarlanmasına ve Uygulanmasına Yönelik Bir Çalışma”, Yayınlanmış Doktora Tezi, *Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Antalya, 39.
- Çağlayan N., Ertekin C. (2015) “Bitki Yetiştirme Odaları için Farklı bir LED Lamba Tasarımı ve Performansının İncelenmesi” *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, cilt.11, ss.347-353.
- Çakırer G. vd. (2016) “Bahçe bitkilerinde kullanılan ışık kaynakları”, *Akademik Ziraat Dergisi* Cilt:6 Özel Sayı:63-70, ISSN: 2147-6403.
- Çiftçi Ö. Y. (2014) “Fotosentez Mbg-101 Genel Biyoloji I”, ders notları, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü*, Gebze, 13-15.
- Demirci H. (2008) “Bina Tasarımında Aydınlatma ve Renk Olgusunun Biyoharmoloji ve Biyosüreç Açısından İncelenmesi”, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 23.
- Dupuis, R. D. and Krames, M. R. (2008) “History, Development and Applications of High-Brightness Visible Light-Emitting Diodes”, *Journal Of Lightwave Technology*, Vol.26, No.9, 1154-1171.
- Durak M. (2011) “LED Tabanlı Sokak Lambası Tasarımı ve Fotometrik Ölçümleri”, *Ulusal Enerji Verimliliği Forumu*, İstanbul, 50-53.
- Erçetin, R. (2007) “Aydınlatma Tekniği Yöntemleri ders notları”, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 4.
- Erol, Y. (2008) “Power LED Sürücü”, *Bilim ve Teknik*, 104-105.
- Eriş A (2007) “Bahçe Bitkileri Fizyolojisi”, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları:11*, Ders Kitabı, Bursa,152.
- Ertem F. (2016) “Aydınlanmanın Niceliği – Niteliği Üzerine: Bilişim Çağında Yeni Çalışma Mekanları Haline Gelen Kafelerde Aydınlatma Kalitesi”, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, *Beykent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 18.
- Eser O. (2013) “Aydınlatma Sistemlerinde Verimliliğin İncelenmesi”, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 18.
- Gayral B. (2017) “LEDs for lighting: Basic physics and prospects for energy savings”, *Comptes Rendus Physique*, Volume 18, Issues 7–8, 453-461.
- Göçmen E. (2014) “Aydınlatma Aygıtlarının Enerji Verimliliği ve Güç Kalitesine Etkileri”, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 3-5.
- Görgülü S. (2011) “Işık Borusuyla Aydınlatılan Odanın Şebeke Destekli Yapay Aydınlatma ile Kontrolü ve Görüntülenmesi”, Yayınlanmış Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 12.

- Griffith M, Ala P, Yang DSC, Hon WC, Moffatt BA.(1992) “Antifreeze protein produced endogenously in winter rye leaves.”, *Plant Physiol* 100: 593-596.
- Gündüz N. (2012) “Led Işık Kaynaklı Enerji Verimli Endüstriyel Aydınlatma Armatürü Optik Tasarımı”, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul, 22.
- Gürbüz, Y. (2012) “Güç Faktörü Düzeltmeli Güç Led Sürücü Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı*, Konya, 55-58.
- Gökmen S. (2017) “Karasal Ekoloji”, Genel Ekoloji, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 42-43
- Jung E. S., Lee S., Lim S.H., Ha S.H., Liu K.H., Lee C.H. (2013) “Metabolite profiling of the short-term responses of rice leaves (*Oryza sativa* cv. Ilmi) cultivated under different LED lights and its correlations with antioxidant activities”, *Plant Science* 210, 61–69.
- Kahyaoglu M., Kıvanç M. (2007) “Endüstriyel Atık Maddelerden Mikrobiyal Yolla Beta Karoten Üretimi”, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi (J. Agric. Sci.)*, 17(2): 61-66
- Kale, S. (2010) “Aydınlatma Amaçlı Led Matrisi Üretimi ve Isıl Özelliklerinin Çözümlemesi”, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 32.
- Katsuhara, M., T.Mimura, ve M., Tazawa (1990) “ATP-regulated ion channels in the plasma membrane of a Characeae alga”, *Nitellopsis obtusa*, *Plant physiol.*, 93, 343-346.
- Kılıçaslan, U. G. (2011) “Aydınlatma Tasarımı Kriterlerinin Hastane Mekânlarında İrdelenmesi”, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, *Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 51.
- Kılıç A. (2013) “Kentsel Dış Mekanlarda Led Aydınlatma Sistemlerinin Değerlendirilmesi Üzerine Örnek Bir Çalışma”, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, *Bahçeşehir Üniversitesi*, İstanbul, 13.
- Kırbay E., Özer H. (2015) “Farklı Gölgeleme Uygulamalarının Örtüaltında Organik Olarak Yetiştirilen Hıyarın (*Cucumis sativus* L.) Verim ve Kalite Üzerine Etkisi”, *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi (UTYHBD)*, 7-14.
- Kim H.H., Goins G.D., Wheeler R.M., Sager J.C., (2004) “Green-Light Supplementation For Enhanced Lettuce Growth Under Red- And Blue-Light-Emitting Diodes” *HortScience* 39: 1617-1622.
- Kittel, C. (1986) “Introduction to Solid State Physics.”, *John Wiley & Sons, Inc.,USA*, 185-217.

- Kocabey, S. (1999) “Dahili Ortamlarda Aydınlik Seviyesinin Kontrolü İle Enerji Tasarrufunun Sağlanması”, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 42.
- Kocabey, S. (2008) “İç Hacimlerde Aydınlik Düzeyi Dağılımının Bulunması ve Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi”, Yayınlanmış Doktora Tezi, **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 11.
- 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., Teke A. (2013) ‘LED Aydınlatma Sisteminin Domates Bitkisinin Gelişimi Üzerine Etkileri’, **Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi** 6 (2): 71-75.
- Manav B. (2005a) “Bir Tasarım Problemi Aydınlatmada Kalite ve Biyoritm”, **III.Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi**, Ankara, 95-98.
- Manav B. (2005b) “Ofislerde Aydınlik Düzeyi, Parlıltı Farkı ve Renk Sıcaklığının Görsel Konfor Koşullarına Etkisi: Bir Model Çalışması”, Doktora Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 25-26.
- McCree, K.J. (1973) “A Rational Approach to Light Measurements in Plant Ecology” **Current Advances in Plant Science**, 3(4): 39-43.
- McKay, HM. (1991) “Electrolyte leakage: A rapid index of plant vitality. Research Information Note 210”, **Forestry Commission, Research Division, Edinburgh, UK.**, ISSN 0267-2375.
- MEGEP “Aydınlatma Tekniği ders notları”, 40-41.
- Menteşeoğlu, D. (2011) “Yeni Nesil Aydınlatma Sistemleri-1 LED Işık Kaynakları”, **EMO İzmir Şubesi**, İzmir, 29-31.
- Ming-Chang Wu vd. (2007) “A novel approach of LED light radiation improves the antioxidant activity of pea seedlings”, **Food Chemistry** 101 (2007) 1753–1758
- Miyashita, Y., Y. Kitaya, T. Kozai, T. Kimura (1995) “Effects of Red and Far-Red Light on The Growth and Morphology of Potato Planters in Vitro: Using Light Emitting Diode as A Light Source For Micropropagation.” **Acta Horti.**, 393: 189-194.
- Morrow RC (2008) “LED lighting in horticulture.” **HortScience** 43:1947–1950
- Musayev E. (2005) “Yarıiletken Işın Vericilerin Bağlantı Şekilleri ve Besleme Çeşitleri”, **Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**, Cilt 10, Sayı 2, Bursa, 63-78.
- Nalçacıgil Z. (2011) “Perylene Türevi Organik Yarıiletken İnce Filmlerin Optik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya, 7.

- Neamen, D. A. (1992) “An introduction to semiconductor devices”, uluslararası baskı, **Donnelley –Sons Company**, USA, 746.
- Narendran, N., Gu, Y. (2005) “Life of LED-based White Light Sources”, **Journal of Display Technology**, 1(1), USA, 167-171.
- Ohasi-Kaneko K., Takase M., Kon N., Fujiwara K., Kurata K. (2007) “Effect of light quality on growth and vegetable quality in leaf lettuce, spinach and komatsuna” **Environ. Cont. Biol.** **45**: 189-198.
- Onaygil S. (2008) “Aydınlatma Aygıt Tasarımı Temel İlkeleri Dersi”, **İTÜ Mimarlık Fakültesi, Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü**, İstanbul,7.
- Osma E, İlhan V, Yalçın İE. (2014) “Heavy metals accumulation causes toxicological effects in aquatic”, **Typha domingensis Pers. Braz J of Bot**, 37(4): 461-467.
- Özkaya, M. (1998) “Aydınlatma Tekniği”, **Birsen Yayınevi**, Yedinci baskı, 27- 39.
- Özkök, A., Çakırcı, G., Demir, K., (Mart-Nisan 2016) “Sera ve LED Aydınlatma.” **Tarım Gündem**, 6(31): 32- 34.
- Özkum E. (2011) “Doğal ve Yapay Aydınlatmanın İnsan Psikolojisi Üzerindeki Etkileri”, **Marmara Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, İçmimarlık Ana Sanat Dalı**, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 4.
- Öztürk B. (2011) “Gerilimdeki Dalgalanmaların Aydınlatma Elemanlarının Renk Sıcaklığına Etkisi”, **İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 25.
- Perry J. (2010) “Webench LED Designer and Webench LED Architect”, Erişim adresi: www.national.com/en/led/software.html, Italy, 3-12.
- Porra R.J., Thompson W.A., Kriedemann P.E., (1989) “Determination Of Accurate Extinction Coefficients And Simultaneous Equations For Assaying Chlorophylls A And Bextracted 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, Pages 384-394
- Rasmussen, S.E. (1994) “Yaşanan Mimari”, **Remzi Kitabevi**, İstanbul, 183.
- Sang-Won Lee vd. (2014) “Influence of different LED lamps on the production of phenolic compounds in common and Tartary buckwheat sprouts” , **Industrial Crops and Products** **54** 320–326
- Sedra A. S., Smith K. C. (2004) “Microelektronik Circuit”, 5. Baskı, **Oxford University Press**, England, 140.
- Sirel, Ş.(1992) “Aydınlığın niteliği”, Kitapçık no. 4, **YFU**.
- Sirel O. (2004) <http://www.yfu.com/booklets/Fotometrik-Olcmeler.pdf>. (Erişim Tarihi: 30.03.2014)

- Smith, N.A. (2000) "Lighting for Health and Safety", *Butterworth-Heinemann*, London, England, 151.
- Sönmezocak T. (2014) "Fotometrik Ölçmeler ve Yeni Modern Yaklaşımlar", Seminer Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 8-9.
- Steffy, G. (2002) "Architectural Lighting Design" 2nd Edition, *John Wiley & Sons*, ABD, 2.
- Sze, S. M. (2002) "Physics of semiconductor devices", 2. Baskı, *John Willey & Sons*, Hoboken, 868.
- Şahin M. (2015) "Aydınlatma lisans ders notları", *Erzincan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, Erzincan, 12.
- Şahin M. (2014) "Farklı Teknik ve Fiziksel Özelliklerdeki Ortamların Bakım Katsayılarının Belirlenmesi ve Aydınlik Düzeylerinin Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Edilmesi", Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 7-11, 24.
- Şener, F., Ünnü, S. (2011) "Binalarda Aydınlatma Enerjisi Performansının BEP-TR Yöntemi İle Belirlenmesi:Örnekler" *X.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 839-849.
- 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.
- Taniyasu Y., Kasu M. and Makimoto T. (2006) "An Aluminium Nitride Light-Emitting Diode With A Wavelength Of 210 Nanometres", *Nature*, Vol. 441(7091), 325-328.
- Taş Y. (2013) "Aydınlatma Sistemlerinde Eneji Verimliliği ve Dış Aydınlatma Kontrolü", Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, *Bahçeşehir Üniversitesi*, İstanbul, 44
- Taylor, Alma E. F. (2000) "Illumination Fundamentals", *Light Research Center*, Troy, New York, 5, pp.24-35
- Türkoğlu A.K., Çalkın Y. (2008) "Fotometride Ölçüm Belirsizliğini Etkileyen Faktörler", *VII. Ulusal Ölçüm Bilim Kongresi*, İzmir, 455-461.
- Ulaş, B.G. (2002) "İç Mekan Renk Düzenlemeleri", Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, *Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 139.
- Ünal A. (2009) "Aydınlatma Tasarım ve Proje Uygulamaları", *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 178.
- Wyszecki G. ve Stiles W.S. (1982) "Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae 2nd ed.", *John Wiley & Sons*, ABD, 571-576.

- Yağcıoğlu, A. (1986) “Tarımsal Elektrifikasyon.” *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, İzmir, 488.
- Yahyaoğlu Z., Genç M. (2007) “ Fidan Standardizasyonu, Standart Fidan Yetiştirilmenin Biyolojik ve Teknik Esasları.”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Yayınları*, Yayın No. 75, Isparta, 355-465.
- Yang Z.C., Kubota C, Chia P.L., Kacira M. (2012) “Effect of end-of-day far-red Light From a Movable LED Fixture on Squash Rootstock Hypocotyl Elongation”, *Scientia Horticulturae 136*: 81-86.
- Yeh N. ve Chung J.P. (2009) “High-brightness LEDs-Energy efficient lighting sources and their potential in indoor plant cultivation”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews 13*, 2175–2180.
- Yıldırım M. A. (2010) “Sılar Tekniği ile Büyütülen ZnO ve CdO İnce Filmlerinin Karakterizasyonu ve Sandviç Yapılarda Kullanılması”, Yayımlanmış Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, 26-27.
- Yılmaz, G. (1994) “Okul Öncesi Eğitim Yapıları Çocuğun Fizyolojik ve Psikolojik Özelliklerinin Tasarıma Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, İstanbul, 96.
- Zhu XG, Long SP, Ort DR (2008) “What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass?”, *Current Opinion in Biotechnology. 19*(2): 153-159.



7.1. Elde Edilen Verilerin İstatistiksel Olarak Karşılaştırılması

7.1.1. Buğday

Dependent Variable	(I) bölge	(J) bölge	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval			
						Lower Bound	Upper Bound		
Kl a	LSD	2000°K	6000°K	-6,87562*	,69956	,000	-8,3164	-5,4348	
			3000°K	-6,63935*	,74200	,000	-8,1675	-5,1112	
		3000°K	2000°K	6,63935*	,74200	,000	5,1112	8,1675	
			6000°K	-,23627	,74200	,753	-1,7644	1,2919	
		6000°K	2000°K	6,87562*	,69956	,000	5,4348	8,3164	
			3000°K	,23627	,74200	,753	-1,2919	1,7644	
	Dunnett T3		2000°K	6000°K	-6,87562*	,70235	,000	-8,7924	-4,9588
				3000°K	-6,63935*	,84160	,000	-8,8698	-4,4089
			3000°K	2000°K	6,63935*	,84160	,000	4,4089	8,8698
				6000°K	-,23627	,61984	,973	-1,9659	1,4934
			6000°K	2000°K	6,87562*	,70235	,000	4,9588	8,7924
				3000°K	,23627	,61984	,973	-1,4934	1,9659
Kl b	LSD	2000°K	6000°K	-2,97265*	,73388	,000	-4,4841	-1,4612	
			3000°K	-2,02146*	,77840	,016	-3,6246	-,4183	
		3000°K	2000°K	2,02146*	,77840	,016	,4183	3,6246	
			6000°K	-,95119	,77840	,233	-2,5543	,6520	
		6000°K	2000°K	2,97265*	,73388	,000	1,4612	4,4841	
			3000°K	,95119	,77840	,233	-,6520	2,5543	
	Dunnett T3		2000°K	6000°K	-2,97265*	,54598	,000	-4,4079	-4,6525
				3000°K	-2,02146	,91770	,144	1,5374	-1,7175
			3000°K	2000°K	2,02146	,91770	,144	4,4079	3,6199
				6000°K	-,95119	,94982	,690	4,6525	1,7175
			6000°K	2000°K	2,97265*	,54598	,000	-,6095	-3,6199
				3000°K	,95119	,94982	,690	-1,5374	,6095
Kl a+b	LSD	2000°K	6000°K	-9,84827*	,99302	,000	-11,8934	-7,8031	
			3000°K	-8,66082*	1,05326	,000	-10,8300	-6,4916	
		3000°K	2000°K	8,66082*	1,05326	,000	6,4916	10,8300	
			6000°K	-1,18746	1,05326	,270	-3,3567	,9818	
		6000°K	2000°K	9,84827*	,99302	,000	7,8031	11,8934	
			3000°K	1,18746	1,05326	,270	-,9818	3,3567	

	Dunnett T3	2000°K	6000°K	-9,84827*	,97663	,000	-12,4180	-7,2785
			3000°K	-8,66082*	1,11886	,000	-11,6378	-5,6838
		3000°K	2000°K	8,66082*	1,11886	,000	5,6838	11,6378
			6000°K	-1,18746	1,01898	,583	-3,9384	1,5635
		6000°K	2000°K	9,84827*	,97663	,000	7,2785	12,4180
			3000°K	1,18746	1,01898	,583	-1,5635	3,9384
Karoten	LSD	2000°K	6000°K	-16,32319*	2,53343	,000	-21,5409	-11,1055
			3000°K	-14,03105*	2,68710	,000	-19,5652	-8,4969
		3000°K	2000°K	14,03105*	2,68710	,000	8,4969	19,5652
			6000°K	-2,29215	2,68710	,402	-7,8263	3,2420
		6000°K	2000°K	16,32319*	2,53343	,000	11,1055	21,5409
			3000°K	2,29215	2,68710	,402	-3,2420	7,8263
	Dunnett T3	2000°K	6000°K	-16,32319*	1,70810	,000	-20,9055	-11,7409
			3000°K	-14,03105*	3,21904	,007	-23,5378	-4,5243
		3000°K	2000°K	14,03105*	3,21904	,007	4,5243	23,5378
			6000°K	-2,29215	3,43952	,877	-11,9984	7,4141
		6000°K	2000°K	16,32319*	1,70810	,000	11,7409	20,9055
			3000°K	2,29215	3,43952	,877	-7,4141	11,9984
Elektrolit sızıntı	LSD	2000°K	6000°K	47,93651*	18,71095	,018	9,0250	86,8481
			3000°K	42,84722*	18,04115	,027	5,3286	80,3659
		3000°K	2000°K	-42,84722*	18,04115	,027	-80,3659	-5,3286
			6000°K	5,08929	19,21577	,794	-34,8721	45,0507
		6000°K	2000°K	-47,93651*	18,71095	,018	-86,8481	-9,0250
			3000°K	-5,08929	19,21577	,794	-45,0507	34,8721
	Dunnett T3	2000°K	6000°K	47,93651	18,96875	,068	-3,1117	98,9847
			3000°K	42,84722	18,46467	,098	-6,5167	92,2111
		3000°K	2000°K	-42,84722	18,46467	,098	-92,2111	6,5167
			6000°K	5,08929	17,21733	,987	-41,8107	51,9892
		6000°K	2000°K	-47,93651	18,96875	,068	-98,9847	3,1117
			3000°K	-5,08929	17,21733	,987	-51,9892	41,8107

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

7.1.2. Arpa

Dependent Variable		(I) bölge	(J) bölge	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
							Lower Bound	Upper Bound
Kl a	LSD	2000°K	6000°K	-4,66435*	,46230	,000	-5,6165	-3,7122
			3000°K	-3,12021*	,49034	,000	-4,1301	-2,1103
		3000°K	2000°K	3,12021*	,49034	,000	2,1103	4,1301
			6000°K	-1,54414*	,49034	,004	-2,5540	-,5343
		6000°K	2000°K	4,66435*	,46230	,000	3,7122	5,6165
			3000°K	1,54414*	,49034	,004	,5343	2,5540
	Dunnett T3	2000°K	6000°K	-4,66435*	,49507	,000	-5,9633	-3,3654
			3000°K	-3,12021*	,47237	,000	-4,3743	-1,8661
		3000°K	2000°K	3,12021*	,47237	,000	1,8661	4,3743
6000°K	2000°K	-1,54414*	,43390	,008	-2,6940	-,3943		
	2000°K	4,66435*	,49507	,000	3,3654	5,9633		
	3000°K	1,54414*	,43390	,008	,3943	2,6940		
Kl b	LSD	2000°K	6000°K	-,58002	,75076	,447	-2,1262	,9662
			3000°K	-,74277	,79630	,360	-2,3828	,8972
		3000°K	2000°K	,74277	,79630	,360	-,8972	2,3828
			6000°K	,16276	,79630	,840	-1,4772	1,8028
		6000°K	2000°K	,58002	,75076	,447	-,9662	2,1262
			3000°K	-,16276	,79630	,840	-1,8028	1,4772
	Dunnett T3	2000°K	6000°K	-,58002	,85543	,872	-2,8390	1,6789
			3000°K	-,74277	,74595	,692	-2,7940	1,3084
		3000°K	2000°K	,74277	,74595	,692	-1,3084	2,7940
6000°K	2000°K	,16276	,58262	,989	-1,4073	1,7328		
	2000°K	,58002	,85543	,872	-1,6789	2,8390		
	3000°K	-,16276	,58262	,989	-1,7328	1,4073		
Kl a+b	LSD	2000°K	6000°K	-5,24437*	,69831	,000	-6,6826	-3,8062
			3000°K	-3,86299*	,74067	,000	-5,3884	-2,3376
		3000°K	2000°K	3,86299*	,74067	,000	2,3376	5,3884
			6000°K	-1,38138	,74067	,074	-2,9068	,1440
		6000°K	2000°K	5,24437*	,69831	,000	3,8062	6,6826
			3000°K	1,38138	,74067	,074	-,1440	2,9068
	Dunnett T3	2000°K	6000°K	-5,24437*	,70509	,000	-7,0990	-3,3898
3000°K	-3,86299*	,69606	,000	-5,7283	-1,9977			

		3000°K	2000°K	3,86299*	,69606	,000	1,9977	5,7283
			6000°K	-1,38138	,76914	,241	-3,4220	,6592
		6000°K	2000°K	5,24437*	,70509	,000	3,3898	7,0990
			3000°K	1,38138	,76914	,241	-,6592	3,4220
Karoten	LSD	2000°K	6000°K	-5,93994*	2,27058	,015	-10,6163	-1,2636
			3000°K	-5,48626*	2,40831	,032	-10,4463	-,5263
		3000°K	2000°K	5,48626*	2,40831	,032	,5263	10,4463
			6000°K	-,45368	2,40831	,852	-5,4137	4,5063
		6000°K	2000°K	5,93994*	2,27058	,015	1,2636	10,6163
			3000°K	,45368	2,40831	,852	-4,5063	5,4137
	Dunnett T3	2000°K	6000°K	-5,93994	2,52102	,085	-12,5503	,6704
			3000°K	-5,48626*	2,02529	,046	-10,8883	-,0842
		3000°K	2000°K	5,48626*	2,02529	,046	,0842	10,8883
			6000°K	-,45368	2,20020	,995	-6,3586	5,4512
		6000°K	2000°K	5,93994	2,52102	,085	-,6704	12,5503
			3000°K	,45368	2,20020	,995	-5,4512	6,3586
Elektrolit sızıntı	LSD	2000°K	6000°K	13,82576*	4,07505	,002	5,4913	22,1602
			3000°K	2,91667	4,30481	,503	-5,8877	11,7210
		3000°K	2000°K	-2,91667	4,30481	,503	-11,7210	5,8877
			6000°K	10,90909*	4,38787	,019	1,9349	19,8833
		6000°K	2000°K	-13,82576*	4,07505	,002	-22,1602	-5,4913
			3000°K	-10,90909*	4,38787	,019	-19,8833	-1,9349
	Dunnett T3	2000°K	6000°K	13,82576*	4,59908	,022	1,7869	25,8646
			3000°K	2,91667	4,08828	,855	-8,1974	14,0307
		3000°K	2000°K	-2,91667	4,08828	,855	-14,0307	8,1974
			6000°K	10,90909*	2,68614	,003	3,7004	18,1178
		6000°K	2000°K	-13,82576*	4,59908	,022	-25,8646	-1,7869
			3000°K	-10,90909*	2,68614	,003	-18,1178	-3,7004

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

7.2. Tez Çalışması Süresince Yapılan Akademik Çalışmalar

Şahin M., Akaltun Y., Karagöz Z. (2016) "Emergency Lighting and Routing Systems Erzincan University Faculty of Engineering Sample Application", *International Erzincan Symposium*, Erzincan, Türkiye, 28 Eylül - 1 Ekim, 469-475.

ÖZGEÇMİŞ

Zehra KARAGÖZ KÜÇÜK, 1991 yılında Erzincan'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Erzincan'da tamamladı. 2015 yılında, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2018 yılında Erzincan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimini tamamladı.

