

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FOTOVOLTAİK ENERJİ ÜRETİMİ ESASLI IŞIK KAYNAĞI YAYILIM
ANALİZLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BUSE ÇAKIR

TEZ DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ NAZIM İMAL

BİLECİK, 2024

10659011

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FOTOVOLTAİK ENERJİ ÜRETİMİ ESASLI IŞIK KAYNAĞI YAYILIM
ANALİZLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BUSE ÇAKIR

TEZ DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ NAZIM İMAL

BİLECİK, 2024

10659011

BEYAN

“Fotovoltaik Enerji Üretimi Esaslı Işık Kaynağı Enerji Yayılım Analizleri” adlı yüksek lisans tezinin hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte, ETİK KURUL onayı alınması durumunda ise ETİK KURUL tarih karar ve sayı bilgilerinin beyan edilmesi gerekmektedir.			
DESTEK ALINMIŞTIR	X	DESTEK ALINMAMIŞTIR	
Destek alındı ise;			
Destekleyen kurum; BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ			
Desteğin Türü		Proje Numarası	
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi) X		2021-02.BŞEÜ.01-02	
Diğer;.....			
ETİK KURUL onayı var ise;			
ETİK KURUL karar tarih/sayı:		/.....	

Buse Çakır

Tarih

.....

İmza

.....

ÖN SÖZ

Tez çalışmam boyunca bilgisini ve desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen, Dr. Öğr. Üyesi Nazım İmal'e, bu yaşıma kadar üzerimde sayılamayacak emeği olan babam Ahmet Çakır'a, annem Halime Çakır'a, kardeşim Enes Çakır'a ve hayat arkadaşım Uğur Öztürk'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Buse Çakır

2024



ÖZET

FOTOVOLTAİK ENERJİ ÜRETİMİ ESASLI IŞIK KAYNAĞI YAYILIM ANALİZLERİ

Görünürlük ya da görünmezlik dalga boylarında ışıyım yayan ışıyım kaynakları, gerçekleştirdikleri aydınlatma, radyo dalgaları vb. görevlerin yanı sıra enerji salınımı da gerçekleştirirler. Güneş, en önemli yerde değerlendirilmesi gereken bir ışıyık kaynağı olup, aydınlatmamızın yanı sıra enerji ihtiyacımızı da karşılar. Güneşten elde ettiğimiz ışıyık yapısal özellikleri, dünyanın konumuna göre gün içerisinde ve mevsimler içerisinde değişkenlik arz ettiği gibi, yararlanmış olduğumuz enerji miktarı da değişkenlik arz eder. Benzer biçimde suni ışıyık kaynağı olarak yararlandığımız lambalarda, aydınlatma işlevlerinin yanı sıra enerji yayılımları gerçekleştirirler. Işıyımsal enerji yayılımı etkisi, frekans ve dalga boyuna bağılı olarak, planck sabiti esaslı hesaplanabilmekle beraber, ışıyım türü ya da ışıyık kaynağı enerji miktarı için temel belirleyici etken olmaktadır. Bu kapsamda yapılan çalışmalarda, farklı ışıyık türü ya da ışıyık kaynağı esaslı olarak, ışıyım dalga boylarının enerji etkilerinin ölçümü yardımıyla, aynı ışıyım miktarları ölçütünde değerlendirilmiştir. Öncelikle, deneysel çalışmalarda elde edilen veriler kullanılarak aynı ışıyık kaynağı için enerji- dalga boyu ilişkisi, fonksiyonel olarak ortaya konulmaya çalışılmıştır. Ayrıca farklı ışıyık kaynakları için de enerji- dalga boyu ilişkisi ele alınarak, aynı dalga boyu için ışıyık kaynağı farklılığının enerji oranını etkileyebildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Işıyık, Enerji, Işıyık türü, Lamba türü

ABSTRACT
PHOTOVOLTAIC ENERGY PRODUCTION BASED LIGHT SOURCE DISPERSION
ANALYZES

Light sources emitting radiation in visibility or invisibility wavelengths, while they perform facilities of lighting, radio waves, etc., also release energy. The sun is the light source that should be evaluated in the most important context and provides our energy needs as well as our lighting. As the structural features of the light we obtain from the sun vary during the day and seasons according to the location of the earth, also the amount of energy we benefit from it is differed. Similarly, lamps that we use as artificial light sources, besides their lighting functions, they also perform energy emissions. Although the effect of radiative energy dissipation can be calculated on the basis of Planck's constant, depending on the frequency and wavelength, the type of radiation or the light source is the main determining factor for the amount of energy. In the studies carried out in this context, the energy effects of radiation wavelengths based on different types of light or light sources are evaluated in the same radiation amount criterion. First of all, the energy-wavelength relationship for the same light source is tried to be revealed functionally by using the data obtained in experimental studies.

Keywords: Light, Energy, Light type, Lamp type

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖN SÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ.....	viii
1.GİRİŞ.....	1
2.İŞIK VE İŞIK KAYNAĞI TÜRLERİ.....	4
2.1. Işığın Yapısı.....	5
2.1.1. Işıқта yansıma.....	5
2.1.2. Işıқта kırılma.....	7
2.2. Işığın Tanecik ve Dalgacık Modeli.....	7
2.3. Planck Sabiti.....	9
3.İŞIK VE ENERJİ.....	11
3.1. Radyo Dalgaları.....	11
3.2. Mikrodalga Işınları.....	12
3.3. Kızılötesi (Infrared) Işınlr.....	14
3.4. Morötesi Işınlr.....	14
3.5. Görünür Işık.....	15
3.6. X ışınları	15
3.7. Gama Işınları.....	16
3.8. Lazer Işınımı.....	16
3.9. Yenilenebilir Enerji.....	20
3.9.1. Güneş Enerjisi.....	20
3.9.2. Güneş Panelleri.....	21
4. İŞIK KAYNAKLARININ İŞINIMSAL VE ENERJİ ÖZELLİKLERİ.....	25
4.1. Farklı Işık Kaynakları İçin Işık ve Elektriksel Enerji Parametreleri.....	26
5.SONUÇ.....	33
KAYNAKLAR.....	35

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 4.1. Farklı ışık kaynakları için ışık ve elektriksel enerji parametreleri.....	27
Tablo 4.2. Uygulama verileri esaslı dalga boyu-güç regresyon tahmin değerleri.....	28



ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Lamba türleri.....	4
Şekil 2.2. Işıktaki düzgün yansıma.....	6
Şekil 2.3. Işıktaki dağınık yansıma.....	6
Şekil 2.4. Işıktaki kırılma.....	7
Şekil 2.5. Newton'un cam prizma deneyi.....	8
Şekil 2.6. Fotoelektrik olay.....	8
Şekil 2.7. Young'ın çift yarık deneyi.....	9
Şekil 2.8. Renk sıcaklığı- dalga boyu ilişkisi.....	10
Şekil 3.1. Elektromanyetik spektrum.....	11
Şekil 3.2. Renklerin dalga boyu ve frekans aralığı.....	14
Şekil 3.3. Plakaya çarpan elektronların oluşturduğu X ışınımı.....	15
Şekil 3.4. Atom çekirdeğinde gama ışını oluşumu.....	16
Şekil 3.5. Kendinden ışıma olayı.....	17
Şekil 3.6. Soğurma olayı.....	18
Şekil 3.7. Uyarılmış ışıma.....	18
Şekil 3.8. Lazer tüpünün yapısı.....	19
Şekil 3.9. Lazer ışınımı.....	20
Şekil 3.10. Güneş Paneli Yapısı.....	21
Şekil 3.11. N Tipi Yarıiletkenlerin Oluşturulması.....	22
Şekil 3.12. P Tipi Yarıiletkenlerin Oluşturulması.....	23
Şekil 3.13. Fotovoltaik Hücre Modeli İçin Eşdeğer Devre.....	24
Şekil 4.1. Fotovoltaik panel için istenilen verilerin ölçümü.....	25
Şekil 4.2. Kırmızı floresan lamba için istenilen verilerin ölçümü.....	26
Şekil 4.3. Uygulama verilerinden elde edilen güç-dalga boyu arasındaki ilişki.....	28

Şekil 4.4. Uygulama verilerinden elde edilen güç-dalga boyu arasındaki ilişki.....	29
Şekil 4.5. Uygulama verilerinden elde edilen ışık şiddeti- aydınlık düzeyi arasındaki ilişki..	30
Şekil 4.6. Uygulama verilerinden elde edilen renk sıcaklığı-renksel geriverim arasındaki ilişki.....	32



KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

V	: Volt
W	: Watt
A	: Amper
m	: Metre
cm	: Santimetre
mm	: Milimetre
nm	: Nanometre
F	: Frekans
UHF	: Ultra Yüksek Frekans
SHF	: Süper Yüksek Frekans
EHF	: Son Derece Yüksek Frekans
Hz	: Hertz
Mhz	: Mega hertz
Ghz	: Giga hertz
Thz	: Tera hertz
Phz	: Peta hertz
Ehz	: Exa hertz
n	: Kırılma İndeksi
cd	: Kandela
E	: Aydınlık Düzeyi
K	: Renk Sıcaklığı
CRI	: Renksel Geri Verim
UV	: Ultraviyole
PV	: Fotovoltaik Panel
I_D	: Diyot akımı (A)

I_0 : Diyotun doyma akımı (A)

V_c : Hücre gerilimi (V)

Q : Bir elektronun yükü

A : Diyot idealite hesabı

k : Boltzmann sabiti

T_{ck} : Hücre sıcaklığı



1. GİRİŞ

Farklı dalga boylarında enerji yayılımı gerçekleştiren dalgacık kaynakları, farklı isimler ile adlandırılan fiziksel etkiler meydana getirmektedir. Bu farklı fiziksel etkilerin çok az bir kısmı gözle görülebilirken, diğer kısımları farklı işlevleri gerçekleştirmektedirler. 380-680 nm dalga boyu aralığındaki ışınım ışınları, görünürlük sınırları içerisinde yer aldığından aydınlatma uygulamaları için tercih edilmektedir. Diğer dalga boyları ise radyo dalgaları, infrared ışınlar, ultrasonik ışınlar, ultraviyole vb. adlarla anılmaktadır.

Güneş, en önemli yerde değerlendirilmesi gereken bir ışık kaynağı olup, aydınlatmamızın yanı sıra enerji ihtiyacımızı da karşılamaktadır. Güneşten elde ettiğimiz ışığın yapısal özellikleri, dünyanın konumuna göre gün içerisinde ve mevsimler içerisinde değişkenlik arz ettiği gibi, yararlanmış olduğumuz enerji miktarı da değişkenlik arz etmektedir.

Benzer biçimde suni ışık kaynağı olarak yararlandığımız lambalar da, aydınlatma işlevlerinin yanı sıra enerji yayılımları gerçekleştirmektedir. Işınımsal enerji yayılımı etkisi, frekans ve dalga boyuna bağlı olarak, planck sabiti esaslı hesaplanabilmekle beraber, ışınım türü ya da ışık kaynağı enerji miktarı için temel belirleyici etken olmaktadır. Bu kapsamda yapılan çalışmalarda, farklı ışık türü ya da ışık kaynağı esaslı olarak, ışınım dalga boylarının enerji etkilerinin ölçümü yardımıyla, aynı ışınım miktarları ölçütünde değerlendirilmiştir.

Bu kapsamda yapmış olduğumuz çalışmada, öncelikle farklı ışık kaynakları ve farklı ışık türleri içerisinde ölçüm yapabileceklerimizi belirleyerek; spektrokolorimetre, voltmetre, ampermetre, lüksmetre ve wattmetre cihazları yardımıyla ışık şiddeti, aydınlık düzeyi, renk sıcaklığı, renksel geri verim, enerji, güç ve dalga boyu sayısal veri olarak ölçümlendirilmiştir.

Öncelikle, deneysel çalışmalarda elde edilen veriler kullanılarak aynı ışık kaynağı için enerji-dalga boyu ilişkisi, fonksiyonel olarak ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Ayrıca farklı ışık kaynakları için de enerji-dalga boyu ilişkisi ele alınarak, aynı dalga boyu için ışık kaynağı farklılığının enerji oranını etkileyebildiği görülmüştür. Dalga boyundaki küçülme ya da yapısal ışık frekansındaki artışın enerji miktarında, lineer olmayan fonksiyonel bir artışa neden olduğu farklı ışık kaynaklarında yapılan tespitlerle de belirlenmiştir. Farklı ışık kaynakları için dalga boyundaki küçülme ya da yapısal ışık frekansındaki artışa bağlı enerji miktarlarındaki fonksiyonel değişimlerin de ışık kaynağı türüne göre ayrıca farklı genliklerde olduğu tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen bilimsel araştırmalar ele alındığında, tez konusuna çok yakın yayınlar bulunamamakla beraber; Chen ve arkadaşlarının 2021 yılında yaptıkları “Photon Management to Reduce Energy Loss in Perovskite Solar Cells” adlı çalışmalarında güneş pillerinde enerji kayıplarını azaltmak için fotonik absorbe esaslı düzenlemelerin üzerinde durdukları görülmüştür.

Wang, ve arkadaşlarının 2019 yılında yaptıkları “White-Light Emission from Dual-Way Photon Energy Conversion in a Dye-Encapsulated Metal–Organic Framework” adlı çalışmada, boya kapsüllü metal-organik çerçevede çift yönlü foton enerji dönüşümünden beyaz ışık emisyonu elde edilmesi üzerinde durmuşlardır.

Aaboud ve arkadaşlarının 2019 yılında yaptıkları “Electron and photon energy calibration with the ATLAS detector using 2015-2016 LHC proton-proton collision data” adlı çalışmalarında proton-proton çarpışma verilerinin kullanımıyla elektron ve foton enerjisi kalibrasyonunun üzerinde durdukları görülmüştür.

Stanley ve arkadaşının 1995 yılında yaptıkları “High energy photon-photon collisions” adlı çalışmalarında bir elektron-pozitron çarpıştırıcısında üretilen yüksek enerjili fotonların çarpışmalarını incelemişlerdir.

Özbey ve arkadaşı yaptığı “Aydınlatmada enerji verimliliği yöntemleri” adlı çalışmalarında enerji verimliliği ve enerji tasarrufu üzerinde durarak enerji tasarrufunun aydınlatmaya olan katkılarını incelemişlerdir.

Akıllı 2019 yılında yaptığı “Farklı çalışma ortamlarında kullanılan yapay aydınlatma kaynaklarının spektral analizi ve çalışanlar üzerindeki etkileri” adlı çalışmasında maruziyet sonucu oluşan zararların ve spektral band genişliği değerlerini risk gruplarında değerlendirmiştir.

Adak ve arkadaşları 2019 yılında yaptıkları “Fotovoltaik sistemin çıkış gücünün sıcaklık ve ışımaya bağlı matematiksel modellenmesi ve simülasyonu” adlı çalışmalarında fotovoltaik sistemin çıkış gücünün güneş ışımasına ve sıcaklığa bağlı değişimini gözlemlemiştir.

Eren ve arkadaşları 2006 yılında yaptıkları “Işık kaynakları, polimerizasyon ve klinik uygulamalar” adlı çalışmalarında diş hekimliğinde kullanılan ışık kaynakları ve özelliklerini incelemişlerdir.

Arkan 2020 yılında yaptığı “Güneş ışınımının renksel özelliklerinin fotovoltaik panellerde enerji üretimine etkileri” adlı çalışmasında fotovoltaik panellerde enerji üretim esaslarını ve güneş ışınımının fiziksel parametrelerinin elektrik enerjisi üretimine etkilerini incelemiştir.

Genç 2006 yılında yapmış olduğu “Elektromanyetik spektrumun x-ışını ve görünür bölgesinde, ortamlardan yayılan fotonları kaydetmek için spektrometre ve görüntüleme sistemlerinin tasarımı” adlı çalışmasında elektromanyetik spektrumda görünür bölge ve x-ışınındaki dalga boyları bulunan ışınların kaydı için yarık ve küçük delikli kameraların ve spektrometrenin tasarımını gerçekleştirmiştir.



2. IŞIK VE IŞIK KAYNAĞI TÜRLERİ

Görülebilirlik sınırları içerisinde ve çevresinde olan ışıyım türleri, aydınlatmada ve diğér fiziksel uygulamalarda renk ve işlevine göre farklı ortamlar için tercih edilirler. Işık türü ve ışık kaynağı seçiminde gerçekleştirilen tercihler aşağıdaki kriterleri karşılamalıdır:

- Aydınlatılması istenilen ortamdaki cisimler ile renksel uyumluluğı,
- Enerji verimliliğı
- Çalışma hassasiyeti
- Canlılarda ve cihazlarda olumsuz görsel etkiler oluşturmaması
- Enerji tasarrufu

Her ışın türü; ışık akısının büyüklüğüne, dalga boyuna ve fotonik yapısına bağılı olarak yayıldığı ortamdan absorbe edildiğı ortama yönelik bir enerji transferi gerçekleştirmektedir. Gerçekleştirilen bu enerji transferinin büyüklüğü, ışığın fiziksel özellikleri ile ilgili olduğı kadar absorbe eden ortamın bu transfere sağladığı izin ile de ilgilidir. Bu kapsamda, koyu renkli cisimler maruz kaldıkları ışıyım türlerini daha fazla oranda absorbe ederken, açık renkli cisimler maruz kaldıkları ışıyım türlerini daha az oranda absorbe ederler. Şekil 2.1.'de lamba türlerinin görseli verilmiştir.



Şekil 2.1. Lamba türleri

2.1. Işığın Yapısı

Işık, en temelinde elektromanyetik bir radyasyondur. Başka bir deyişle ışık, belli bir kaynaktan çıkarak gelen foton topluluğudur. Işık, kütlesi olmayan foton ve atom altı taneciklerden oluşmaktadır. Fotonların frekansları ve dalga boyları vardır. Yani fotonlar dalga özelliği göstermektedirler ve dalga boylarına göre isimlendirilmektedir. Işığın dalga boyundaki değişim, ışığın enerjisini belirlemektedir. Işığın dalga boyu uzadıkça enerjisi azalırken, dalga boyu kısalıdıkça enerjisi artmaktadır. İnsan gözünün algılayabildiği kadarıyla, bu enerji değişimi renkleri ifade etmektedir. İnsan gözü ultraviyole ışınım başlangıcı olan 380 nm ile kızılötesi ışınım başlangıcı olan 680nm dalga boyu aralığında algılama yapabilmektedir. Örneğin kırmızı ve mor rengi kıyaslayacak olursak; mor rengin dalga boyu kırmızı rengin dalga boyuna oranla daha kısadır. Yani mor rengin enerjisi kırmızı rengin enerjisine göre daha fazladır.

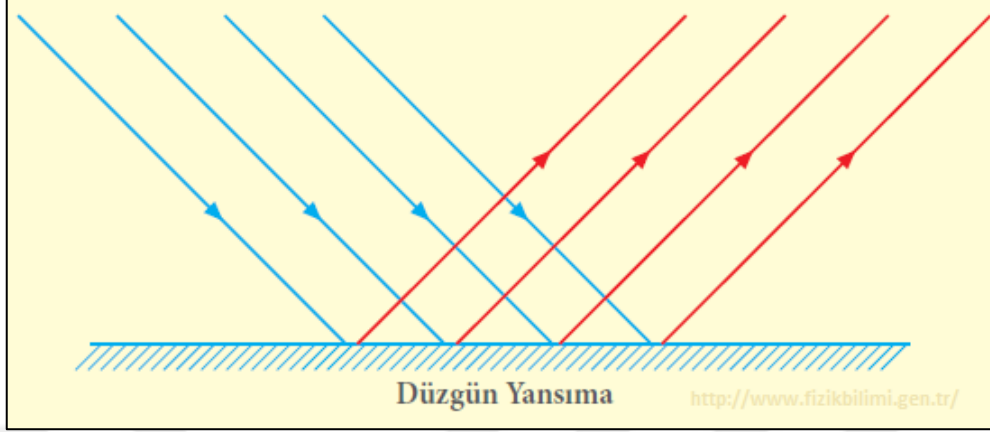
Işık şiddetiyle ilgili bilinmesi gereken üç tane büyüklük vardır. Bu büyüklüklerden ilki lümen'dir. Lümen, ışık kaynağının birim zamanda yaydığı ışık miktarıdır. Yani ışık akışı şiddetidir. İkincisi ise candeladır. Candela, belli bir lümen değerine sahip ışık kaynağının belirli bir yöne doğru yaydığı ışığın ışımaya şiddetinin birimidir. Yani ışık şiddetidir. Üçüncüsü ise lux'dür. Lux, bir yüzeye düşen toplam ışık miktarı olup, belirli bir yüzeyin aydınlık ölçüsüdür.

Işığın yayılması hakkında iki farklı teori vardır. Bunlardan ilki Newton'ın ışığın tanecikler halinde yayıldığı teorisi, ikincisi ise Christiaan Young'ın ışığın dalgacıklar halinde yayıldığı teorisidir. Işığın yayılması için herhangi bir maddesel ortama gerek yoktur. Kaynaktan çıkan ışık; önünde bir engel yoksa doğrudan yayılırken, önünde engel olması durumunda o engele çarparak kırılma ya da yansıma olaylarını gerçekleştirmektedir (Arkan, 2020:6).

2.1.1. Işıқта yansıma

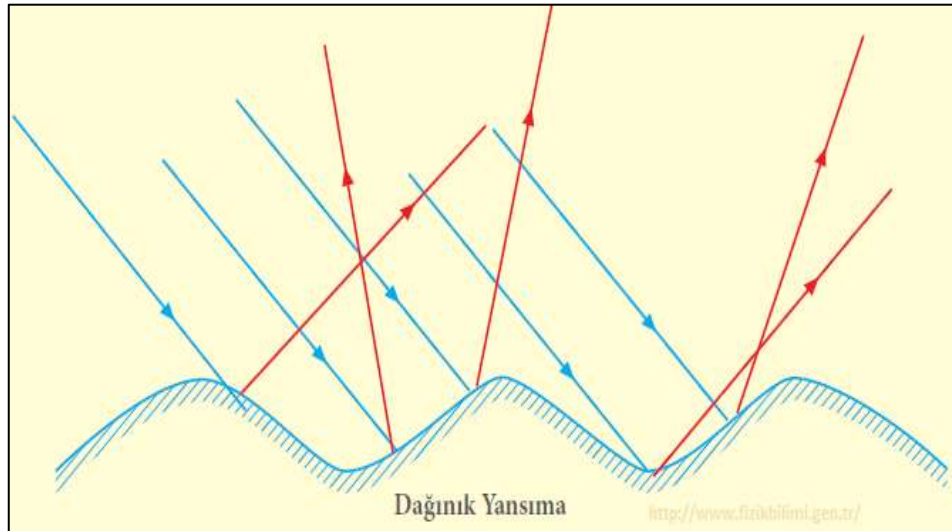
Kaynaktan çıkan ışığın, parlak bir cisme ya da zemine çarparak geldiği yöne doğru geri dönmesi olayına yansıma denmektedir. Yansıma olayında ışığın yüzeye geliş açısı oldukça önemlidir. Yüzeyi düzgün olan zeminler ışığı dağıtmadan direkt olarak yansıtırken, yüzeyi pürüzlü olan zeminler ışığı dağıtarak yansıtılmaktadır. Işık yansıma yaparken renginde herhangi bir değişiklik olmaması, yansıyan ışığın hızında bir değişiklik meydana gelmediği anlamına gelmektedir. Bu durumdan ışık enerjisini ve frekansını korumaktadır sonucu çıkarılmıştır. Düzgün yansımada; kaynaktan gelen ışık demeti birbirine paralel ışınlar

şeklinde düzgün bir yüzeye çarparak, ışınların konumu değişmeden aynı paralellikle yansımaktadır. Şekil 2.2.'de ışığın düzgün yansımalarının görseli verilmektedir. Düzgün yansımada cisimler daha parlak görünmektedir (Sun, 2014: 699).



Şekil 2.2. Işıқта düzgün yansımada

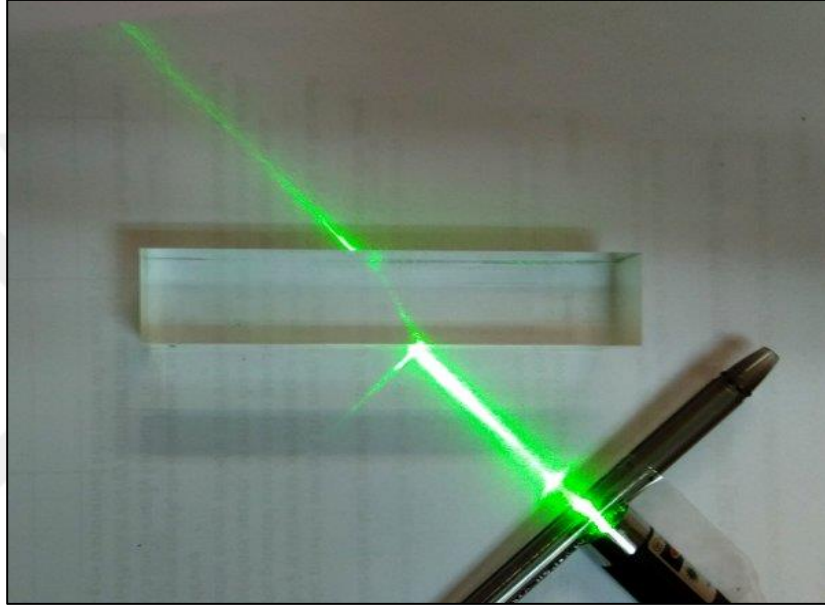
Dağınık yansımada ise; düzgün yansımada olduğu gibi kaynaktan çıkarak gelen ışın demeti birbirine paralel ışınlar şeklinde bir yüzeye temas etmektedir. Paralel olarak gelen ışınların pürüzlü bir yüzeye çarparak yönlerinin değişmesi olayına dağınık yansımada denmektedir. Şekil 2.3.'te ışığın dağınık yansımalarının görseli verilmektedir. Dağınık yansımada cisimler daha mat görünmektedir (Sun, 2014: 699).



Şekil 2.3. Işıқта dağınık yansımada

2.1.2. Işıhta kırılma

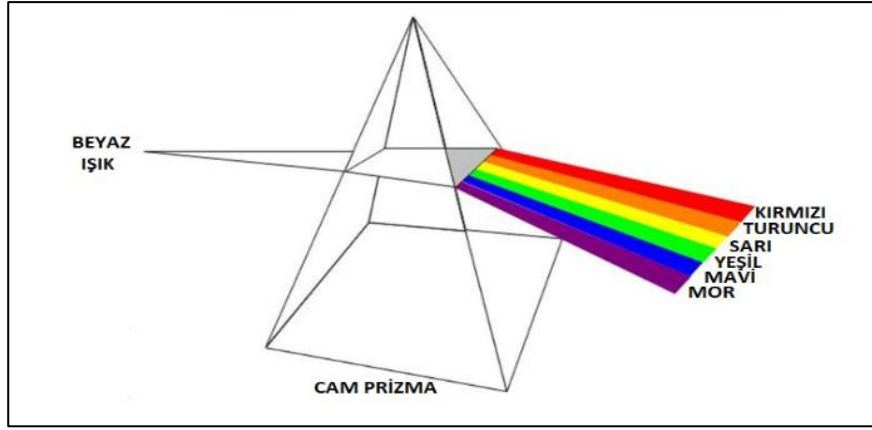
Işığın saydam ortamlar arası geçiş yaparken doğrultusunun değişmesi olayına kırılma denmektedir. şekil 2.4.'te saydam cisim üzerinde ışığın kırılması görseli verilmektedir. Işığın kırılmasının en temel sebebi ise ışığın değişik ortamlarda hızının değişmesinden kaynaklanmaktadır. Kırılma indisi (n) olarak bilinen sabit sayı ise ışığın farklı ortamlarda kırıcılık özelliğini temsil etmektedir. Doğrusal olarak gönderilen ışığın temas ettiği yüzeye olan açısı da kırılma oranını etkilemektedir. Bir ortamda ışık çok kırılıyorsa o ortama çok kırıcı ortam, ışık az kırılıyorsa o ortama az kırıcı ortam denmektedir (Sabra,1989:193).



şekil 2.4. Işıhta kırılma

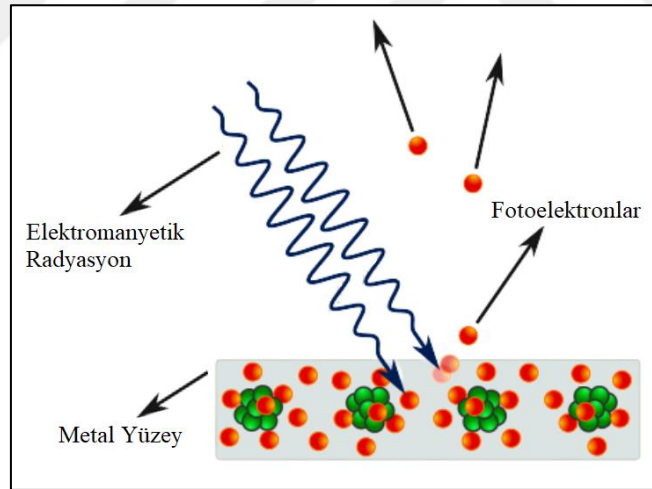
2.2. Işığın Tanecik ve Dalgacık Modeli

Sir Isaac Newton, 1672 senesinde ışıkla ilgili analiz çalışmalarına başlamıştır. Newton'a göre ışık küçük, renkli taneciklerden oluşmaktadır. Işık kaynakları da bu oluşan tanecikleri etrafa yaymaktadır. Newton'a göre bir cisim ışık aldığında oluşan gölgesi, bu tanımı desteklemektedir. Cam bir prizmaya beyaz ışık tutulduğu zaman, beyaz ışık renklerine ayrılarak farklı açılarla kırılmaktadır. şekil 2.5.'te Newton'un cam prizma deneyinin sonucunda oluşan renklerin görseli verilmektedir. Sabun köpüğünde oluşan renklenme ve yağmurun ardından oluşan gökkuşağı da bu durumu örneklemektedir. Yağmur damlacıklarıyla karşılaşan güneş ışınları tıpkı Newton'un cam prizma deneyinde olduğu gibi renklerine ayrılmaktadır (Herdem, 2010:57).



Şekil 2.5. Newton'un cam prizma deneyi

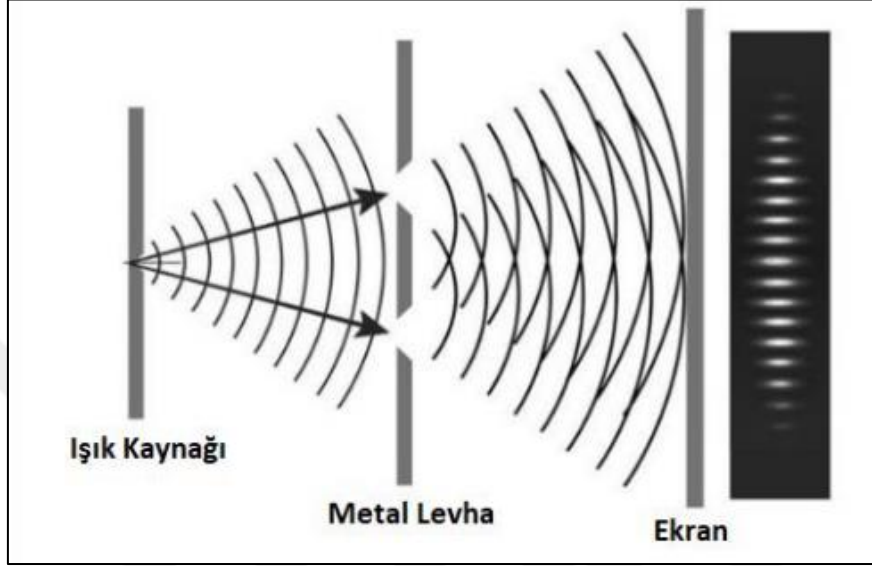
Newton'a göre renk, ışığın bir özelliği olup, cisimlerin özelliği değildir. Newton ışığın taneciklerden oluştuğunu öne sürdüğü kuramında; ışığın kırılması ve yansımalarını açıklarken, kırılımını ve girişimini açıklayamamıştır. Işımanın tanecikli yapıda olduğu durum ise fotoelektrik olay ile gösterilebilmektedir. Metal bir yüzeye bir ışın düştüğü zaman yüzeyden elektronlar kopar ve bu olay ışığın tanecik yapısını gösterir. Şekil 2.6.'da metal bir yüzeye ışının gönderilmesi sonucu elektronların kopmasının görseli verilmiştir.



Şekil 2.6. Fotoelektrik olay

1678 senesinde Christiaan Huygens ışığın dalgalar halinde yayıldığını söyleyerek, ışığın kırılım ve girişim olaylarını açıklamıştır. Huygens'e göre ışık kaynakları çok yüksek frekanslı titreşimler oluşturmaktadır. Oluşan bu titreşimler saydam ortamlarda dalgalar halinde yayılmaktadırlar. Bir yarıktan ışık geçtiği zaman, su dalgaları gibi dalga cephelemi girişim yapar ve girişim deseni oluşmuş olur. Thomas Young yaptığı çift yarık deneyiyle ışığın girişim yaptığını gösterip, Huygens'in ortaya attığı dalga modelinin kabul edilmesini

sağlamıştır. Thomas Young, önce tek bir yarığa ışın demeti gönderip ışığın dalgalandığını gözlemlemiş ve daha sonrasında çift yarığa ışın demeti gönderip dalgaların uyumlu ışık kaynağı gibi çalışıp girişim yapmasını gözlemlemiştir. Şekil 2.7.'de Thomas Young'ın çift yarık deneyi verilmiştir. Ayrıca dalgaların girişim yapmasının sonucunda ekranda aydınlık ve karanlık noktaların olduğunu gözlemlemiştir (Jaeger, 2009:175).



Şekil 2.7. Young'un çift yarık deneyi

2.3. Planck Sabiti

Bir kara cismin termodinamik olarak dengede olması durumunda sadece sıcaklığından dolayı yaptığı ışımaya kara cisim ışıması denmektedir. Kara cisim; üzerine düşen bütün ışığı soğurup yansıma yapmayan varsayımsal bir cisimdir. Her cisim sıcaklığından dolayı ışıma yapmaktadır. Max Planck, yaptığı kara cisim ışıması deneyinde ışığın enerjisinin sürekli değil, kesikli olduğunu ve planck sabiti adını verdiği değerin katları ile yayıldığını öne sürmüştür (Yıldız,2015:28).

Planck sabiti, süreksizliğin birimi olarak bilinmektedir. Planck, kuramlarında bir cisimden yayılan ışığın dalgalar halinde değil, tanecik halinde yayıldığını ve ışımanın en küçük birimi olan fotonu, bulduğu planck sabitinin temsil ettiğini öne sürmüştür. Bu kuramda, ışımanın enerjisi yayılım dalga boyu ile ters, frekansı ile doğru orantılıdır.

Max Planck'in oluşturduğu formül;

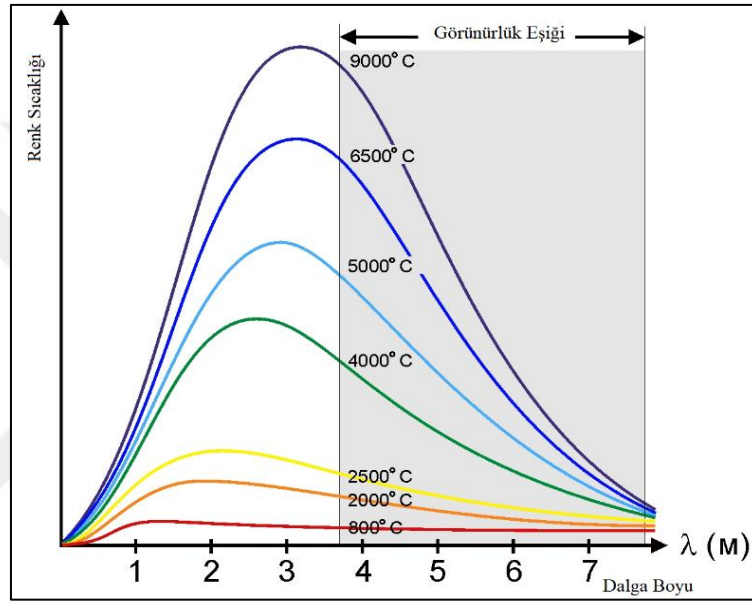
$$E = h \cdot f \quad (2.1)$$

$$h = 6,62607015 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \quad (2.2)$$

Burada E , fotonun enerjisini h , planck sabitini ve f ışımanın frekansını temsil etmektedir. Buradan da görüleceği üzere, ışımanın frekansı arttıkça, ışığın türüne de bağlı olarak enerji seviyesi artmaktadır.

Planck'ın formüllerini kullanan Einstein, Planck'ın ışığın dalgalar halinde değil, tanecikler halinde yayıldığı hipotezini geliştirmiş ve ışığı oluşturan tanecikleri foton olarak adlandırmıştır.

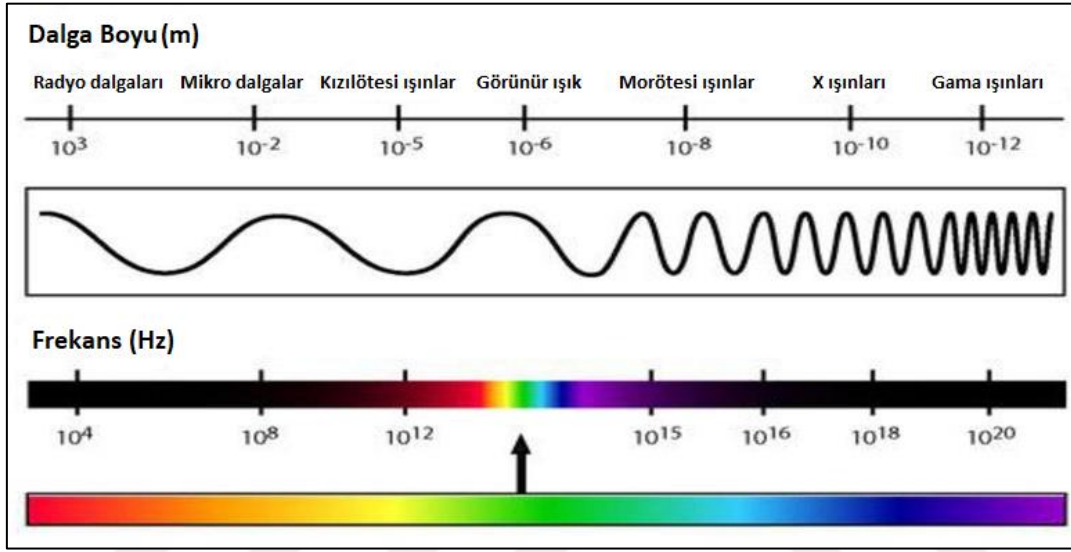
Şekil 2.8.'de yatay eksenle sağdan sola doğru gidildikçe dalga boyu azalmaktadır. Bu durum ayrıca radyasyonik enerjinin arttığını göstermektedir.



Şekil 2.8. Renk sıcaklığı- dalga boyu ilişkisi

3. IŞIK VE ENERJİ

Elektromanyetik dalga, manyetik ve elektrik alanların enine hareketidir. Elektromanyetik dalgaların çok geniş bir aralığı bulunmaktadır. Işın türleri dalga boyu ya da türler olarak yedi temel grup olarak adlandırılarak, bu ışınlardan farklı alanlarda yararlanılmaktadır. Şekil 3.1.'de elektromanyetik spektrum olarak adlandırılan, elektromanyetik dalgaların tümünü barındıran bir ölçeğin görseli verilmektedir. Yani elektromanyetik spektrumda tüm ışık türleri ölçekli biçimde yer almaktadır.



Şekil 3.1. Elektromanyetik spektrum

Elektromanyetik spektruma bakıldığında, dalga boyu ve frekansın ters orantılı olduğu anlaşılmaktadır. Elektromanyetik dalganın boyu azaldıkça ışınım frekansı arttığından, Planck eşitliği ile tanımlanan enerjisi artar. Ayrıca, enerjisi artan elektromanyetik dalga, atom içerisinde daha çok ilerleyerek, atom çekirdeğine daha kolay ulaşabilmektedir (Genç, 2006:17).

3.1. Radyo Dalgaları

Frekansı 300 GHz ile 30 Hz, dalga boyu ise 1mm ile 10000 km arasında olan elektromanyetik spektrumda en küçük frekans ve en büyük dalga boyuna sahip elektromanyetik dalgalarıdır. Gözle görülmemekte ve ışık hızında ilerlemektedir. Teorik olarak radyo dalgaları ilk kez 1867 yılında Maxwell tarafından öngörülmüş ve 1887 yılında Heinrich Hertz tarafından deneysel çalışmalar sonucu kanıtlanmıştır. İvmelenen yüklü parçacıklar, ses ve sinyal iletişimde kullanımları sonucu, bu dönem sonrası radyo dalgaları

olarak tanımlanmıştır. Doğal yollar dışında da yapay olarak radyo dalgası üretmek mümkün olup, bu amaçla radyo dalgası üretmek için zamanla değişim gösteren elektrik akımları kullanılmaktadır. Radyo dalgası üretimi için antenler ve özel şekiller verilen metal iletkenler kullanılmaktadır. Antene radyo vericisi tarafından gönderilen elektrik akımı sonrası, anten bu gücü radyo dalgasına dönüştürerek yaymaktadır. Radyo dalgaları, televizyon, cep telefonları, radyo vericilerinde ve radarlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Kusza, 2004:39).

3.2. Mikrodalga Işınları

Mikrodalga ışınları, frekansı 300 MHz ile 300 GHz, dalga boyu ise 1mm ile 1m arasında olan elektromanyetik spektrumda kısa boya ve yüksek frekansa sahip elektromanyetik dalgalardır. Örneğin mikrodalga fırınlar 2,4Ghz frekansta çalışmakta olup, bu frekansta, su moleküllerinin hızlı bir şekilde kendi etrafında dönmesini sağlamak ve böylece ısı enerjisi yayarak mikrodalga fırının çalışması sağlanmaktadır. Mikrodalga ışınlar farklı olarak radar sinyallerinde, telefonlarda, uydu haberleşmesinde ve navigasyonlarda kullanılmaktadırlar.

Haberleşme amaçlı olarak ise, mikrodalga ışınları bir bilgiyi yüksek çalışma frekansı sayesinde kolaylıkla taşıyabilmekte ve çok fazla kanala sahip olarak yaygın erişim ağı sağlamaktadırlar. Mikrodalga ışınları düz çizgiler halinde yayılmakta ve genelde üç başlık altında incelenmektedir. Bunlar; ultra yüksek frekans (UHF), süper yüksek frekans (SHF), son derece yüksek frekans (EHF)'tır.

Mikrodalgalar frekans bantları ve dalga boylarına göre de gruplara ayrılmaktadır. Bunlar;

- L Bandı

Frekansları 1GHz ile 2GHz arasında, dalga boyları 3mm ile 1,5mm arasında değişen dalgalardır. Askeri uydularda ve mobil iletişimde kullanılmaktadırlar.

- S Bandı

Frekansları 2GHz ile 4GHz arasında, dalga boyları 1,5cm ile 7,5cm arasında değişen dalgalardır. Bu dalgalar navigasyonda ve kablosuz ağlarda kullanılmaktadırlar.

- C Bandı

Frekansları 4GHz ile 8GHz arasında, dalga boyları 3,75cm ile 7,5cm arasında değişen dalgalardır. Uzun mesafeli telsiz iletişimde kullanılmaktadırlar.

- X Bandı

Frekansları 8GHz ile 12GHz arasında, dalga boyları 2,5cm ile 3,75cm arasında değişen dalgalardır. Radarlarda ve uydu haberleşmelerinde kullanılmaktadırlar.

- KU Bandı

Frekansları 12GHz ile 18GHz arasında, dalga boyları 2,5cm ile 1,67cm arasında değişen dalgalardır. Rüzgar hızı, rüzgar yönü, rüzgar doğrultusu gibi enerji değişikliklerini ölçmek için kullanılmaktadırlar.

- K Bandı

Frekansları 18GHz ile 27GHz arasında, dalga boyları 1,11cm ile 1,67cm arasında değişen dalgalardır. Bu bandın bir kısmı kızılötesi alanında, bir kısmı mikrodalga alanında bulunmaktadır. Kızılötesi alanında astronomik gözlemler için kullanılırken, mikrodalga alanında uydu iletişimi ve radar için kullanılmaktadırlar.

- Ka Bandı

Frekansları 26,5GHz ile 40GHz arasında, dalga boyları 7,5mm ile 1,11cm arasında değişen dalgalardır. Uydu iletişimde kullanılmaktadırlar.

- Q ve V Bandı

Frekansları 33GHz ile 50GHz arasında, dalga boyları 9,1mm ile 6mm arasında değişen dalgalardır. Bu dalgalar uzaktan algılama ve radyo astronomi çalışmalarında kullanılmaktadırlar.

- W Bandı

Frekansları 75GHz ile 110GHz arasında, dalga boyları 4mm ile 2,73mm arasında değişen dalgalardır. Bu dalgalar otomotiv uygulamalarında park sensörü, fren sistemi gibi alanlarda kullanılmaktadır.

- F Bandı

Frekansları 3GHz ile 4GHz arasında, dalga boyları 7,5cm ile 10cm arasında değişen dalgalardır (Güler,1995:15).

3.3. Kızılötesi (Infrared) Işıklar

Kızılötesi ışınlar frekansı 300 GHz ile 430 THz, dalga boyu ise 700 nm ile 1mm arasında değişen ışınlar olup 19. yüzyılda William Herschel tarafından keşfedilmiştir. Kızılötesi ışınlar yakın kızılöte, kısa kızılöte, orta kızılöte, uzun kızılöte ve uzak kızılöte olmak üzere alt gruplara ayrılmaktadırlar. Kızılötesi ışınlar, gündelik hayatımızda çok fazla karşımıza çıkmaktadırlar. Örnek verilecek olursa, uzaktan kumandalarda, gece görüşünde, uzaktan sıcaklık algılamada, hava tahmininde ve kısa mesafeli kablosuz iletişimde kullanılmaktadır (Whetsel,1968:188).

3.4. Morötesi Işıklar

Morötesi ışınlar frekansı 750 THz ile 30 PHz, dalga boyu ise 10 nm ile 400 nm arasında olan ışınlardır. İnsan gözü 400 nm ile 700 nm dalga boyları arasındaki ışınları algılayabilmektedir. İnsanların görebildiği en küçük dalga boyuna sahip ışık rengi mordur. Mordan daha küçük dalga boylarına sahip olan bu ışınma ise morötesi ışık ismi verilmiştir. 1801 senesinde Johann Ritter, güneş tayfı hakkında inceleme yaparken morötesi ışığı keşfetmiştir. Güneşte insan vücudunun bronzlaşmasının sebebi bu ışınların sahip olduğu yüksek frekans aralığı olup, bu özellikleri nedeniyle solaryum ve paraları kontrol eden cihazlarda sıklıkla kullanılmaktadırlar. Morötesi ışınlar farklı karakterlere sahiptirler ve her canlı üzerinde farklı etkileri vardır. Bu yüzden bilim insanları morötesi ışınları üç kategoride incelemiştir. Bunlar;

- UV-A: En yaygın olan ışınlardır. Bu ışınlar ozon tabakasından geçebilmektedirler.
- UV-B: Tehlikeli ışınlardır ve bu ışınların büyük bir kısmı ozon tabakasından geçemez.
- UV-C: Çok tehlikeli ışınlardır ve bu ışınlar ozon tabakasından geçemez (Diffey,2002:5).

Renk	Dalga Boyu Aralığı	Frekans Aralığı
Kırmızı	~ 700–635 nm	~ 430–480 THz
Turuncu	~ 635–590 nm	~ 480–510 THz
Sarı	~ 590–560 nm	~ 510–540 THz
Yeşil	~ 560–490 nm	~ 540–610 THz
Mavi	~ 490–450 nm	~ 610–670 THz
Mor	~ 450–400 nm	~ 670–750 THz

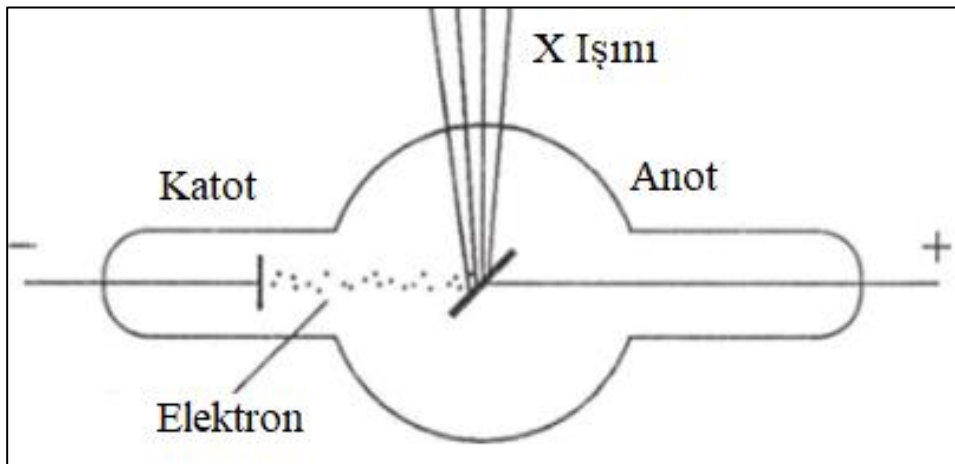
Şekil 3.2. Renklerin dalga boyu ve frekans aralığı

3.5. Görünür Işık

Frekansı 750 THz ile 430 THz, dalga boyu 400 nm ile 700 nm arasında olan ışınlardır. İnsanların çıplak gözle baktığında algıladığı renklerden oluşan ışık türü “Görünür Işık” olarak adlandırılır. 700 nm ye yakın olan kısmı, enerjisi en düşük olan kırmızı ışığa, 400 nm ye yakın olan kısmı ise enerjisi en yüksek olan mavi-mor ışığa karşılık gelmektedir. Görünür bölgede gözümüzün algıladığı renkler sırasıyla gökkuşağında bulunan renklerdir. İnsan gözü çıplak olarak, tanımlanabilen elektromanyetik spektrumun yaklaşık % 0,0035’lik bir kısmını algılamaktadır. Görünür bölgede dalga boylarını büyükten küçüğe doğru sıralayacak olursak; kırmızı, turuncu, sarı, yeşil, mavi, mor şeklindedir. Şekil 3.1’de elektromanyetik spektrum üzerindeki görünür bölgede bulunan ışığın renklerinin frekans ve dalga boyu aralığı verilmiştir.

3.6. X Işınları

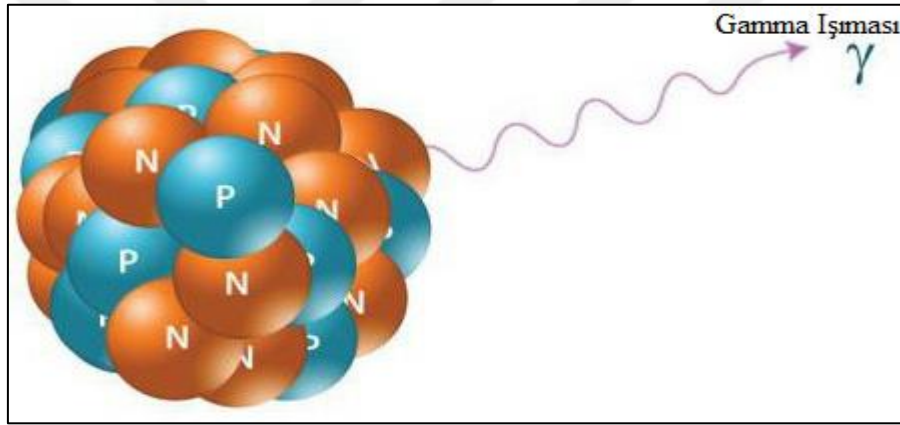
X ışınları Frekansı 0,01nm ile 10 nm, dalga boyu 30 EHz ile 30 PHz arasında olan ışınlardır. Wilhelm Röntgen dalga boyları ve ışık üzerine çalışırken, yanlışlıkla ortaya çıkan bir keşif sonucu tanımlanmışlardır. X ışınları şekil 3.3.’te görüldüğü gibi enerji yüklü parçacıklar maddeye çarptığında yayılmaktadırlar. X ışınları hem tanecik hem de dalga özelliği göstermekte ve ışık hızı ile doğrular halinde yayılmaktadırlar. Elektrik ve manyetik alandan etkilenen X ışınları, doğal yollarla oluştuğu gibi yapay olarak da oluşmaktadırlar. X ışınları röntgen cihazlarında, kanser tedavisinde, x-ray cihazlarında kullanılmaktadır (Arslan, 2015:5).



Şekil 3.3. Plakaya çarpan elektronların oluşturduğu X ışınımı

3.7. Gama Işınları

Gama ışınları, frekansı 15 EHz (Eksahertz= 10^{18}) 'den büyük, dalga boyu 0,02 nm'den küçük olan ışınlardır. Gama ışınları aslında şekil 3.4.'te görüldüğü üzere atom çekirdeğinde gerçekleşen radyoaktif bozunum sırasında açığa çıkan enerjisi yüksek olan bir elektromanyetik radyasyondur. Paul Villard tarafından 1900 yılında keşfedilen gama ışınları, elektromanyetik spektrumda enerjisi en yüksek olan dalga türü olarak tanımlanmaktadırlar. Ayrıca, enerjileri yüksek olduğu için, madde içerisinde daha fazla ilerleyebilirler. Uzayda da mevcut olan bu ışınlar ışık hızıyla yayılarak, yerküreye de ulaşmakta ve büyük oranda yerküre atmosferi tarafından soğurulmaktadır. Farklı dalga boylarındaki ışınım yapıları da atmosferi delerek daha farklı derinliklere ulaşabilmektedirler. Güneş'te meydana gelen patlamalar ve nükleer patlamalar da, yayılan ışınım türlerine kaynak oluşturan fiziksel olaylardır (Akkoyun, 2006:12).



Şekil 3.4. Atom çekirdeğinde gama ışını oluşumu

3.8.Lazer Işınımı

Lazer yapılar, uyarılmış radyasyonla ışığın yükseltilmesini sağlayan optik bir düzenektir. Lazer ismi, "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" sözcüklerinin baş harflerinden tanımlanır. Bu ifadenin Türkçe karşılığı ise "ışığın uyarılmış ışıma ile yükseltilmesi" anlamına gelmektedir. 1917 yılında Albert Einstein tarafından lazerin çalışma prensibini oluşturan uyarılmış ışıma konsepti öne sürülmüştür. Bu çalışma prensibi 3 temel esasa dayanır. Bu esaslar; uyarılmış ışıma, soğuma ve kendiliğinden ışımadır.

Buna göre;

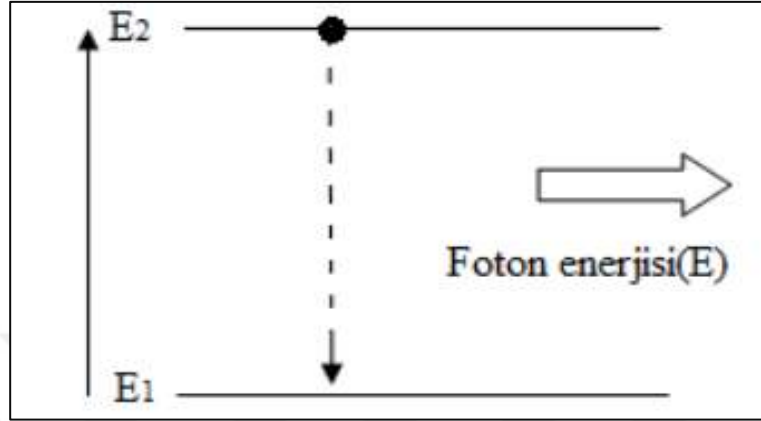
E_1 : :Düşük seviyeli atom enerjisi

E_2 : :Yüksek seviyeli atom enerjisi

$$E: E_2 - E_1 \quad (3.1)$$

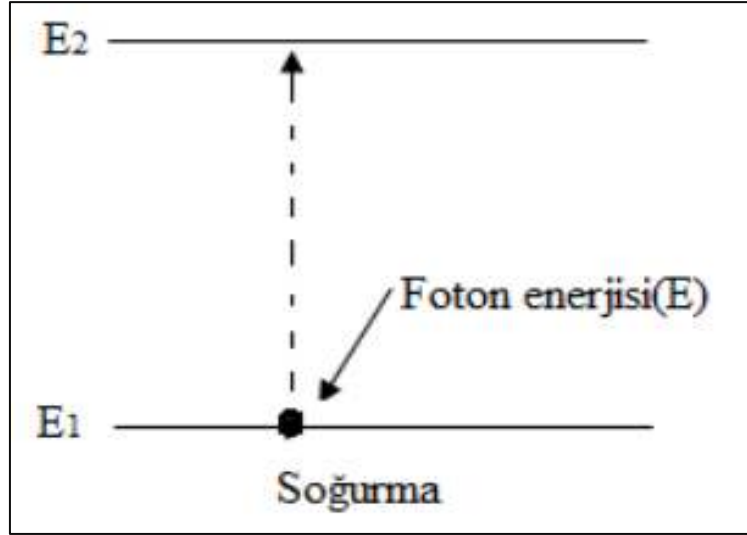
E : :Foton enerjisi

Kendiliğinden ışıma olayı; yüksek seviyedeki atomun foton yayıp, düşük seviyeli atom haline geçmesidir. Şekil 3.5.'te kendinden ışıma olayı görseli verilmiştir.

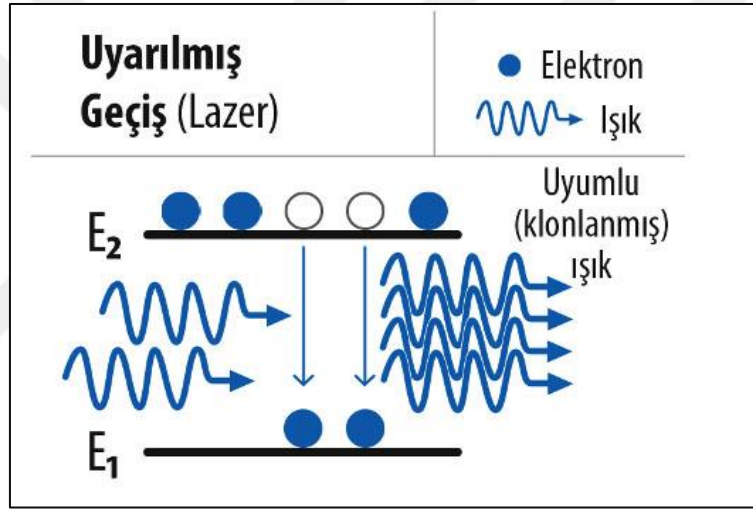


Şekil 3.5. Kendinden ışıma olayı

Soğurma olayı; düşük enerji seviyesinde bulunan atomun foton soğurarak, yüksek seviyeli atomun enerjisi seviyesine geçmesidir. Şekil 3.6.'da soğurma olayı görseli verilmiştir. Uyarılmış ışıma, atom yüksek enerji seviyesinde bulunurken fotonik zorlamayla enerji seviyesinin düşmesidir. Işınım yayılımı ile enerji seviyesindeki bu düşme ile enerji seviyesi düşen atom için ışın bu yayılımı devam edecek olursa, enerji seviyeleri daha düşük seviyelere inebilmektedir. Şekil 3.7.'de uyarılmış ışımanın görseli verilmiş olup, burada yüksek seviyedeki atom en düşük enerji seviyesine kadar inebilmektedir. Buradaki iki seviye arasındaki enerji farkı, yayılan ışınının foton enerjisi etkisi olarak tanımlanır. Bunun sonucu olarak en başta iki foton varken, atomdan dört foton uzaklaşmakta ve dört fotonun yayılım hareketleri eş zamanlı olduğu için ışık yayılımı güçlenmektedir.



Şekil 3.6. Soğurma olayı

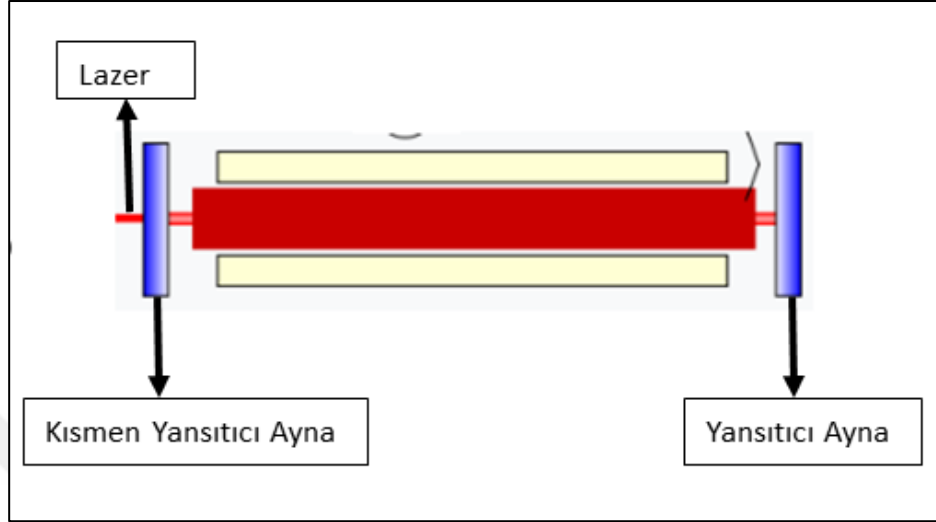


Şekil 3.7. Uyarılmış ışıma

Lazerin elde edilmesi Albert Einstein tarafından uyarılmış ışıma konsepti prensibine dayanmaktadır. Lazer, optik saydam bir lazer tüpü içerisinde elde edilmektedir. Şekil 3.8.'de da görüldüğü gibi lazer tüpünün iki ucunda da ayna bulunmaktadır. Bir ucunda kısmen yansıtıcı ayna, diğer ucunda tam yansıtıcı ayna mevcuttur.

İçerisi katı ya da sıvı dolu olan lazer tüpüne dışarıdan enerji verilip (dış ortamdan ışık geçirme veya lazer tüpüne dışarıdan enerji verme) ortamda bulunan atomlara ulaştırılmaktadır. Bazı atomlar verilen bu enerjiyi absorbe etmektedir. Enerjinin fazla olması atomları kararsız hale getirmektedir. Fotonların bu kararsız haldeki atomlara çarpmasıyla bu atomlar da foton yayarak kararlı hale geçmeye çalışmaktadırlar. Yayılmış olan fotonlar, tüpün içerisinde bulunana aynalardan yansiyarak dönmekte ve reaksiyonu hızlandırmaktadırlar.

Atomların büyük kısmının foton yayması üzerine, foton sayıları uyarım sonucu artmakta ve enerji seviyesindeki artmayla birlikte, ışık kısmen yansıtıcı ayna olan uç kısımdan yoğun dışarı çıkmaktadır. Foton enerjisiyle kuvvetlenen ve dışarı çıkan bu ışık lazer ışınımı olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 3.8. Lazer tüpünün yapısı

Lazer ışını düzenli ve tek dalga boyuna sahip olduğundan lazerin cinsine göre renkli ışınlar elde edilmektedir. Tıp alanında da kullanım alanı oldukça geniştir. Örneğin tümör ameliyatlarında, göz ameliyatlarında ve diş tedavilerinde kullanılmaktadırlar. Ayrıca teknolojiye, haberleşmede ve inşaat sektöründe de oldukça yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Yavuz, 2012:53).

Tüm bu gelişmelere uygun olarak, lazer ışık versiyonuna ait en net tanımlama 1953 yılında, ışıktan daha düşük mikrodalga frekanslarında çalışan ışıyım türü olarak Townes tarafından yapılmıştır. Akkor lamba veya mum gibi herhangi bir kaynaktan çıkarak yayılan ışık, koordine olmayan farklı uzunluklardaki dalgalardan oluşurken, bu durum yayılan ışığın düzensiz olduğunu göstermektedir. Lazer ışıyım türünde ise, ışıyım dalgaları zaman ve uzayda koordineli olarak, her dalganın boyu hemen hemen aynı uzunlukta olacak biçimde yayılmaktadırlar. Şekil 3.9.'da lazer ışıyımının düzenli yayılımına ait bir yayılım gösterilmektedir (Ashkin, 1972:62).



Şekil 3.9. Lazer ışınımı

3.9.Yenilenebilir Enerji

Enerji ihtiyaçları rüzgar, güneş, hidroelektrik, dalga, jeotermal, biyokütle, hidrojen ve gelgit enerjisi gibi enerjilerle karşılanabilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları hiçbir zaman tükenmemekte olan enerji türü olarak kabul edilir. Bu sebeple, insanların enerji ihtiyaçlarını sürekli olarak karşılayabilme adına, hem enerji ihtiyaçlarımızı karşılamak hem de çevreye olan zararları azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarına daha çok yönelinmesi gerekmektedir. Elektriğin henüz ulaşamadığı konuma sahip yerlerdeki insanlar da olmak üzere, günümüzde gelişen teknolojiler ile birlikte elektrik ihtiyaçlarını yenilenebilir enerji kaynaklarıyla daha büyük oranda karşılamaktadırlar. Ayrıca enerji ihtiyacı gün geçtikçe artmakta olduğundan, enerji ihtiyacının karşılanmasında enerjinin düşük maliyetli, güvenilir ve sürdürülebilir olması bakımından yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek yerinde olacaktır (Salmanoğlu, 2009:9).

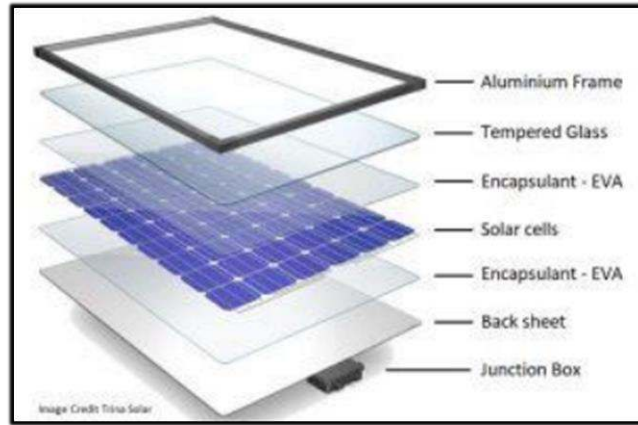
3.9.1. Güneş Enerjisi

Güneşin içerisinde bulunan hidrojen atomlarının birleşerek helyuma dönüşümü sırasında çıkan büyük miktarda enerji güneş enerjisi olarak tanımlanır. Birçok bilim adamı tarafından savunulan kuramlara göre, güneşte meydana gelen bu enerji dönüşümü sırasında kütlede bir azalma da meydana gelmekte ve kütledeki bu azalmanın karşılığında da bir enerji açığa çıkmaktadır. Güneşte bir saniyede 1038 adet füzyon tepkimesi oluşmakta ve oluşan bu füzyon tepkimelerine bağlı olarak saniyede $3,86 \times 10^{26}$ Joule'luk enerji açığa çıkmaktadır. Yani 259×10^9 adet reaksiyon sonucunda 1J'luk güneş enerjisi oluşmaktadır. Bu oluşan bir saniyelik enerji, 564 ton hidrojenin 560 ton helyuma dönüşmesinin sonucunda açığa çıkan 4 milyon ton hidrojenin kütle enerjisidir. Güneşten yayılan enerjinin sadece 2,2 milyarda biri

dünyaya ulaşmaktadır. Dünyaya ulaşan bu enerji, aynı zamanda yaşam için temel enerji kaynağı olmaktadır. Başka faktörler ortaya çıkmadığı sürece, ışımasını tükenmeden sürdürebildiği için, güneş dünyada sonu olmayan bir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Aslında dünyamızdaki tüm enerji kaynaklarının (petrol, kömür, rüzgar, su döngüsü vb.) oluşum temelindeki başlangıç reaksiyon ve tepkimeleri oluşturması sebebiyle ana kaynak güneştir.

3.9.2. Güneş Panelleri

Güneş panellerinin görevleri, güneşten direkt olarak aldığı ışınları içerdikleri fotovoltaik hücreler yardımıyla elektrik enerjisine çevirmektir. Fotovoltaik hücrelerin yapısında yarı iletken silikonlar hücreler bulunmaktadır ve bir tane silikon hücre yaklaşık olarak 0,5V gerilim üretmektedir. Silikonların yapısı oldukça kırılgan olup bu silikon yapılar yaklaşık olarak 150- 300 mikron kalınlığındadırlar. Güneş panellerinin ortalama ömrünün 25 ila 30 yıl arasında değişeceği öngörülmekte olup, bu süreci insanlık olarak test etmekte olduğumuzu rahatlıkla ifade edebiliriz. Güneş panelleri yapısında en içten dışa doğru; bağlantı kutusu, sırt folyosu, EVA, özel temperli cam, yalıtım malzemesi ve alüminyum bulundurmaktadırlar. Şekil 3.10.'da güneş panellerinin iç yapısının görseli verilmiştir.



Şekil 3.10. Güneş Paneli Yapısı

Güneş panellerinin performansları, içerisindeki silisyum hücre tiplerine göre belirlenmektedir. Bunlar; monokristal silisyum hücre ve polikristal silisyum hücre yapıları olmak üzere başlıca iki tip silisyum hücre modeli bulundururlar.

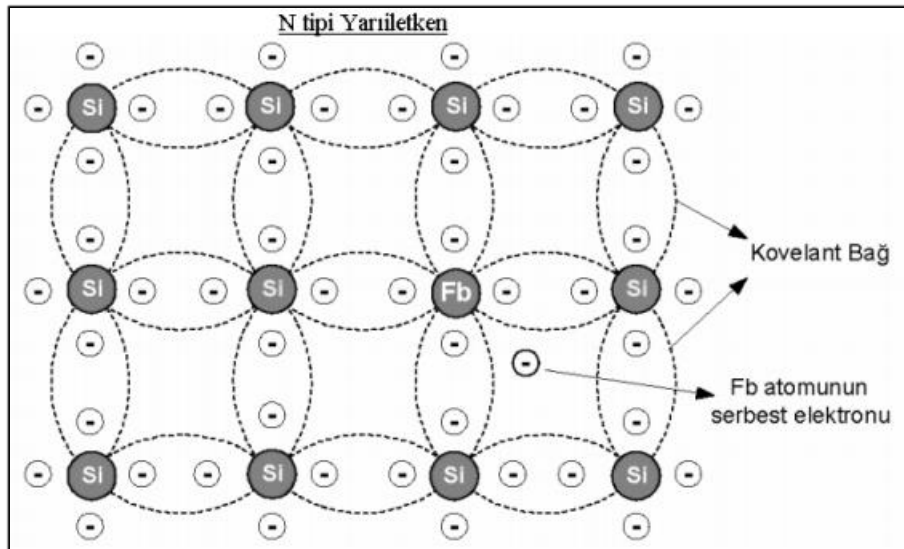
Fotovoltaik hücreler diğer yarıiletken yapılarda olduğu gibi, iki ayrı tip yarı iletkenin oluşturulması ile üretilmektedirler.

Bunlar;

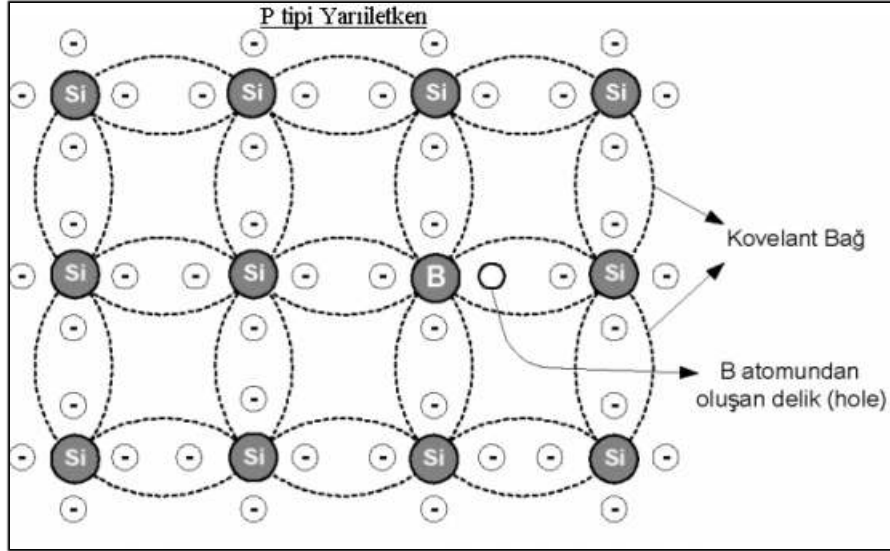
- P Tipi: Protonların elektronlardan fazla olduğu madde
- N Tipi: Elektronların protonlardan fazla olduğu madde

N tipi maddelerin negatif, yani elektron bakımından zengin olması gerekmektedir. Germanyum ya da silisyum içerisine belirli oranda fosfor, arsenik vb. gibi son yörüngesi 5 elektrondan oluşan maddeler karıştırılarak üretilmektedirler. Son yörüngesi 4 elektrondan oluşan germanyum yada silisyum ile son yörüngesi 5 elektronlu farklı bir maddenin 4'er elektronları aralarında 19 kovalent bağ kurulduğunda 1 elektron boşta kalmakta ve bu farklı materyal, elektron bakımından zenginleşmiş olmaktadır.

P tipi maddelerin de pozitif yüklü olabilmeleri için elektron bakımından fakir olmaları gerekmektedir. P tipi maddeler, germanyum ya da silisyum içerisine belirli oranda bor, indium vb. gibi son yörüngesi 3 elektrondan oluşan maddeler karıştırılarak üretilmektedirler. Karışımın sonrasında, germanyum ya da silisyum olarak ele alınan maddenin bir elektronu boşta kalmakta ve eşleşmeye çalıştığı elektron yerlerinde oyuklar oluşmaktadır. Bunun sonucunda, malzeme elektron bakımından fakirleşme ve pozitif yüklü duruma geçmektedir. Şekil 3.11.'de N tipi yarıiletkenlerin oluşturulması görseli, Şekil 3.12.'de P tipi yarıiletkenlerin oluşturulması görseli verilmiştir (H.Ü. 2006:51-58).



Şekil 3.11. N Tipi Yarıiletkenlerin Oluşturulması



Şekil 3.12. P Tipi Yarıiletkenlerin Oluşturulması

Güneş hücrelerinde p-n eklemleri kullanılmaktadır. Güneş hücrelerinin özelliklerini belirlemek için aşağıdaki Shockley denklemini kullanabilmekteyiz.

$$I_D = I_0 \left(e^{\frac{V_{cxq}}{a k T_{ck}}} - 1 \right) \quad 3.2$$

Burada,

I_D = Diyot akımı (A)

I_0 = Diyotun doyma akımı (A)

v_c = Hücre gerilimi (V)

q = Bir elektronun yükü

a = Diyot idealite hesabı

k = Boltzmann sabiti

T_{ck} = Hücre sıcaklığını

ifade etmektedirler. Net akımı bulmak için ise:

$$I = I_L - I_D \quad 3.3$$

eşitliği kullanılmaktadır.

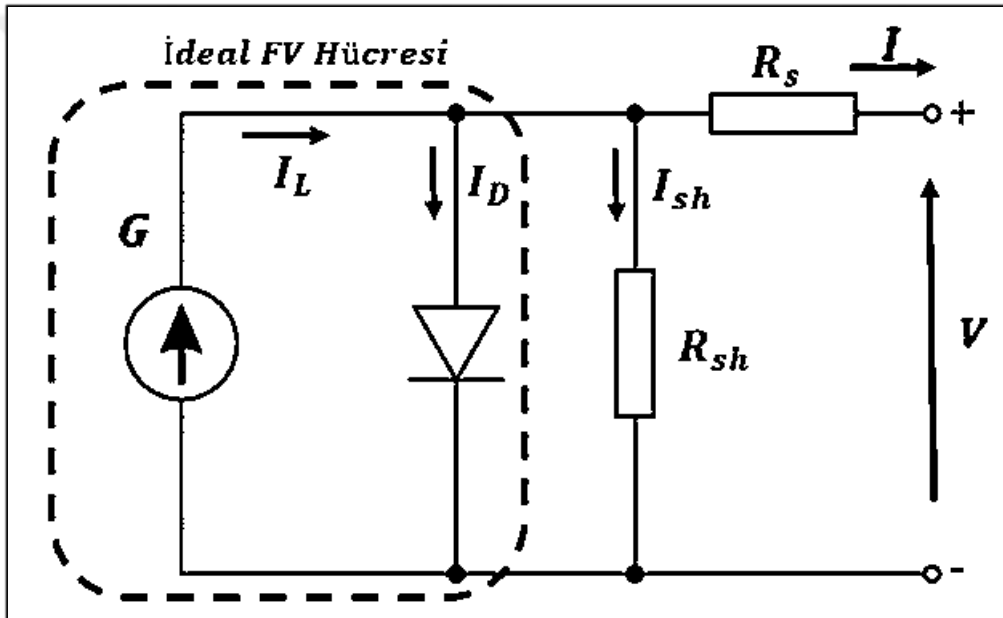
Burada,

I = Net akım

I_L = Işık kaynaklı akım

I_D = Normal diyot akımını temsil etmektedir.

Şekil 3.13.'te fotovoltaik hücre modeli için eşdeğer devre modeli görseli verilmektedir. Bu eşdeğer devrede, fotovoltaik enerji sağlayan hücre yapısı bir akım kaynağı olarak verilmiştir. Hücresinin sahip olduğu yarıiletken özelliği diyot ile temsil edilirken, iç yapısına ait akım kayıpları paralel dirençle, gerilim kayıpları ise seri dirençle temsil edilmiştir.



Şekil 3.13. Fotovoltaik Hücre Modeli İçin Eşdeğer Devre

4. IŞIK KAYNAKLARININ IŞINIMSAL VE ENERJİ ÖZELLİKLERİ

Çalışmanın temel kapsamı bakımından, ışık kaynaklarının ışımsal ve enerji özelliklerini ele alabilmek için; lamba veya ışık kaynağı türü, ışık şiddeti, aydınlık düzeyi, renk sıcaklığı, renksel geri verim ile elde edilen emk, akım ve güç değerlerinin ele alınmaları gerekmektedir. Ele alınan bu veriler kullanılarak, parametrelerin enerji dönüşümündeki etkinliklerini kıyaslamak için ışık kaynaklarından elde edilen güç değerleri belirlenmektedir.

Çalışmada zamana bağlı enerji dönüşümünün belirlenmesi ise 1 saatlik süreye karşılık olan 3600 sn esaslı olarak ele alınmaktadır. Elektromanyetik dalgalar olarak yayılımı esas alınan ışımsal türlerinde, ışımsal dalgalarının enerjisi dalga boyu ile ters orantılıdır. Diğer bir ifade ile dikkate alınan bir ışımsal türünde enerji büyüklüğü, dalga boyu küçüldükçe artar. Örneğin, en kısa dalga boylarına sahip olduğu kabul edilen gama ışınları en yüksek enerjili ışınlar olarak ele alınır. Benzer biçimde X ışınları da yüksek enerjili ışınlar olmakla beraber gama ışınlarından daha uzun dalga boylarına sahiptirler. Ultraviyole ışınları, görünür ışık, kızılötesi ışınlar ve radyo dalgaları gibi diğer elektromanyetik dalgalar da farklı enerji seviyelerine sahiptirler. Çalışma içerisinde belirlemiş olduğumuz ışık kaynaklarından fotovoltaik panel için istenilen verilerin elde edilmesinde kullanılan ölçü aletleri ve cihazlar şekil 4.1’ de görülmektedir



Şekil 4.1. Fotovoltaik panel için istenilen verilerin ölçümü

4.1. Farklı Işık Kaynakları İçin Işık ve Elektriksel Enerji Parametreleri

Çalışma içerisinde, farklı ışık kaynaklarının fiziksel parametrelerinin ölçümleri gerçekleştirilerek uygulama verileri elde edilmiştir. Uygulama verilerinin elde edilmesinde; ışık şiddeti ölçer, lüksmetre, spektro kolorimetre, fotovolttaik panel, voltmetre, ampermetre ve wattmetre işlevli cihazlar kullanılmıştır. Bu amaçla, ışık parametrelerin ölçümü için gelişmiş yapılı bir spektro kolorimetre ve yine ölçüm kolaylığı sağlaması bakımından voltmetre, ampermetre ve wattmetre işlevlerine sahip güç analizörü çalışma içerisinde kullanılmıştır. Çalışma içerisinde belirlemiş olduğumuz ışık kaynaklarından 20W'lık kırmızı renk floresan lamba için istenilen verilerin elde edilmesinde kullanılan ölçü aletleri ve cihazlar şekil 4.2.'de görülmektedir.



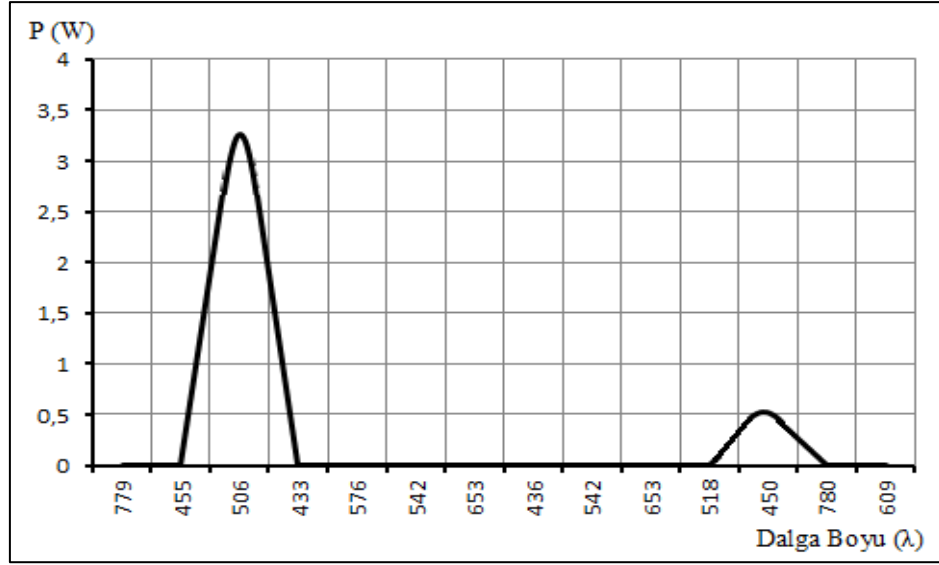
Şekil 4.2. Kırmızı floresan lamba için istenilen verilerin ölçümü

Çalışma içerisinde kullanılan cihaz ve aletlerle farklı ışık kaynaklarına yönelik olarak ışık şiddeti (cd) aydınlık düzeyi (E), renk sıcaklığı (K), renksel geri verim (CRI), emk (E), I (A), P (W) ve dalga boyu (λ) değerleri ölçülmüş olup, ölçülen bu değerler tablo 4.1.'de görülmektedir.

Tablo 4.1. Farklı ışık kaynakları için ışık ve elektriksel enerji parametreleri

Lamba veya Işık Kaynağı Türü	Işık Şiddeti (cd)	Aydınlık Düzeyi (E)	Renk Sıcaklığı (K)	Renksel Geri Verim (CRI)	E (V)	I (A)	P (W)	Dalga Boyu (λ)
Gaz Lambası	6,1	66	2058	99	0,01	0,01	10^{-4}	779
İkinci Bulut Arkası Güneş	526,8	5670	7488	97	0,08	0,01	8×10^{-4}	455
İkinci Açık Güneş	8727	93935	5326	99	12,2	0,31	3,78	506
Floresan Soğuk Beyaz 20 W	643,6	6928	7343	74	0,2	0,005	10^{-3}	433
Floresan Sıcak Beyaz 40 W	719,9	7749	3834	61	0,2	0,005	10^{-3}	576
Floresan Gün Işığı 20 W	1035,7	11148	3927	82	0,4	0,01	4×10^{-3}	542
Floresan Kırmızı 20 W	250,7	2698	2000	1	0,2	0,005	10^{-3}	653
Floresan Mavi 20 W	242,42	2607	9000	1	0,2	0,005	10^{-3}	436
Floresan Yeşil 20 W	852,8	9184	5865	1	0,2	0,005	10^{-3}	542
Floresan pembe 40W	181,6	1955	1500	1	0,2	0,005	10^{-3}	653
Led Yeşil 20 W	3014	32442	7914	1	0,2	0,005	10^{-3}	518
Metal Halide 1 kW	10391	111847	5366	78	5,2	0,1	0,52	450
Infrared 400 W	1,6	17	1000	1	0,4	0,005	2×10^{-3}	780
Floresan warm light 40W	362,7	3904	2714	85	0,2	0,005	10^{-3}	609

Tablo 1’de ölçülen parametre değerlerine göre lamba ve ışık kaynağı türlerinin dalga boyu-güç grafiği şekil 4.3.’te verilmektedir. Bu veriler ele alındığında, lineer bir değişim olmadığı gözlemlenmiş olup, 518-780 nm arası dalga boyları arası ekstra olarak ekrana çıkan enerji dalgasının ise floresan lambalardan kaynaklı, radyasyonik foton yayılımı esaslı olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.3. Uygulama verilerinden elde edilen güç-dalga boyu arasındaki ilişki

Güç- dalga boyu ilişkisine göre elde edilen denklem;

$$p = 10^{-04} \lambda^6 - 0,72 \times 10^{-02} \lambda^5 + 0,1328 \lambda^4 - 1,1838 \lambda^3 + 5,0979 \lambda^2 - 9,2527 \lambda + 5,3138 \quad (4.2)$$

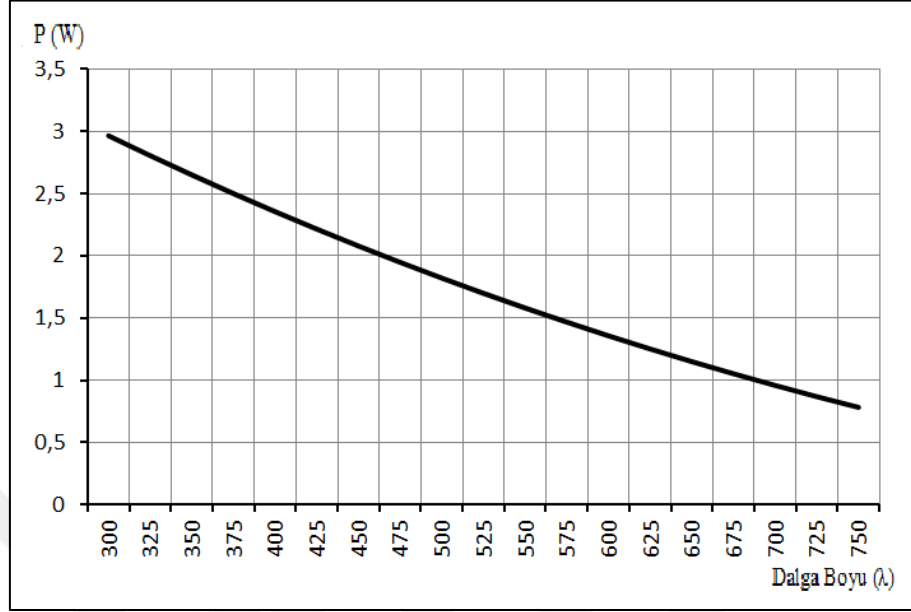
şeklindedir. Dalga boyu-güç ilişkisini bulmak adına eşitlik 4.1 kullanılarak yapılan regresyon tahmin analizi tahmin değerleri tablo 4.2.'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Uygulama verileri esaslı dalga boyu-güç regresyon tahmin değerleri

No	Dalga Boyu (Nm)	Güç (W)	10	525	1,70
1	300	2,97	11	550	1,58
2	325	2,81	12	575	1,47
3	350	2,65	13	600	1,36
4	375	2,50	14	625	1,25
5	400	2,36	15	650	1,15
6	425	2,22	16	675	1,05
7	450	2,08	17	700	0,96
8	475	1,95	18	725	0,87
9	500	1,82	19	750	0,78

Şekil 4.4.'te güç-dalga boyu grafiği ve bu grafiğe göre güç-dalga boyu sayısal değerleri verilmiştir. Ölçümlerimiz ve grafiğe göre bulduğumuz güç-dalga boyu değerleri ele

alınarak yukarıda elde etmiş olduğumuz denkleme yerleştirilip çözüme ulaştırılırsa yaklaşık olarak spektrokolorimetre ile ölçümünü yaptığımız değerler elde edilmektedir.



Şekil 4.4. Uygulama verilerinden elde edilen güç-dalga boyu arasındaki ilişki

Şekil 4.4.'te ki grafiğe baktığımızda güç değerinin azaldığını ve dalga boyunun arttığını gözlemleyebiliriz. Bu grafik esas alınarak güç ve dalga boyu değerleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

Ölçmüş olan sayısal değerleri ele alındığında, güç ve dalga boyu arasındaki enerji aşağıdaki denklemlerle de açıklanabilir:

$$P = I \cdot V \quad (4.3)$$

$$P = m \cdot v \quad (4.4)$$

$$E = m \cdot c^2 \quad (4.5)$$

yukarıdaki denklemlerden m ele alındığında,

$$m = \frac{E}{c^2} \quad (4.6)$$

ifadesi elde edilmiş olur. 4.3 eşitliğinden elde etmiş olduğumuz m değeri eşitlik 4.4'de yerine konulduğunda,

$$P = \frac{E}{c} \quad (4.7)$$

denklemini elde edilmiş olur. Bu değer,

$$P = \frac{h}{\lambda} \quad (4.8)$$

olarak da ifade edilebilir. Eşitlik 4.8’de “ λ ” yı ele aldığımızda,

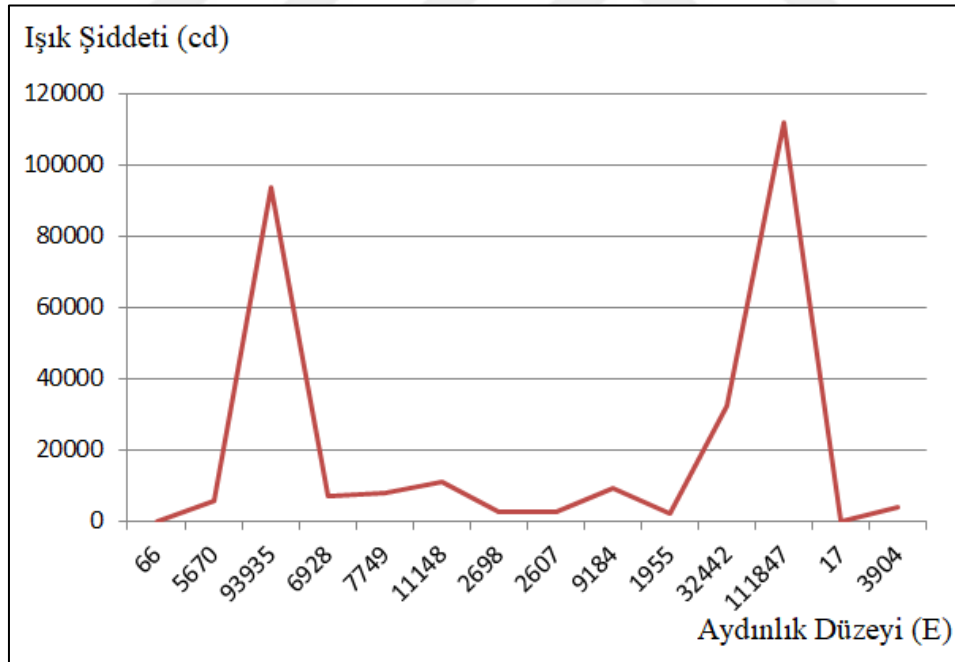
$$\lambda = \frac{h}{P} \quad (4.9)$$

eşitliği elde edilmiş olur.

Bir kaynaktan çıkarak belirli yönde yayılan ışık miktarına ışık şiddeti denilmektedir. Işık kaynaklarının aydınlatma oranları eşit değildir. Bunun sebebi ise ışık şiddetlerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 4.5.’te ölçüm yapmış olduğumuz kaynaklar için ışık şiddeti aydınlık düzeyi ilişkisi verilmiştir.

Aydınlık düzeyini formüsel olarak aşağıdaki denklem yardımıyla bulabiliriz:

$$E = \frac{\phi}{A} = \frac{4\pi I}{4\pi r^2} = \frac{\text{candela}}{\text{metre}^2} \text{ lüx} \quad (4.10)$$



Şekil 4.5. Uygulama verilerinden elde edilen ışık şiddeti - aydınlık düzeyi arasındaki ilişki

Bütün ışık kaynaklarından aynı renklerin elde edilmesi mümkün değildir. Doğru ışığın seçilmesi için renk sıcaklığı ve renksel geri verim değerlerine bakılmalıdır. Renk sıcaklığı sıcak ve soğuk olarak iki gruba ayrılmaktadır.

Soğuk beyaz ve sıcak beyaz renk tonları ayırt edici olabilmeleri için Kelvin olarak isimlendirilmişlerdir. Renksel geri verim, dalga boylarına bakılarak yapılan analiz sonuçları ve bulundukları ortamdaki ambiyanslarına göre 4 farklı grupta değerlendirilmektedir.

Bunlar;

- 2500-2800 K renk grubu — sarı, sıcak
- 2800-3500 K renk grubu — sıcak beyaz, doğal
- 2500-2800 K renk grubu — soğuk beyaz, doğal
- 5000 K renk grubu — gün ışığı

Ortamda seçilen ışıkla oluşturulmak istenilen ambiyans için ışık rengi kadar renksel geriverimi de önemlidir. Renksel geriverimi en iyi yansıtan soğuk gün ışığı ve enkandesan ampullerdir.

Renksel geriverim genel olarak 3 farklı grupta değerlendirilmektedir.

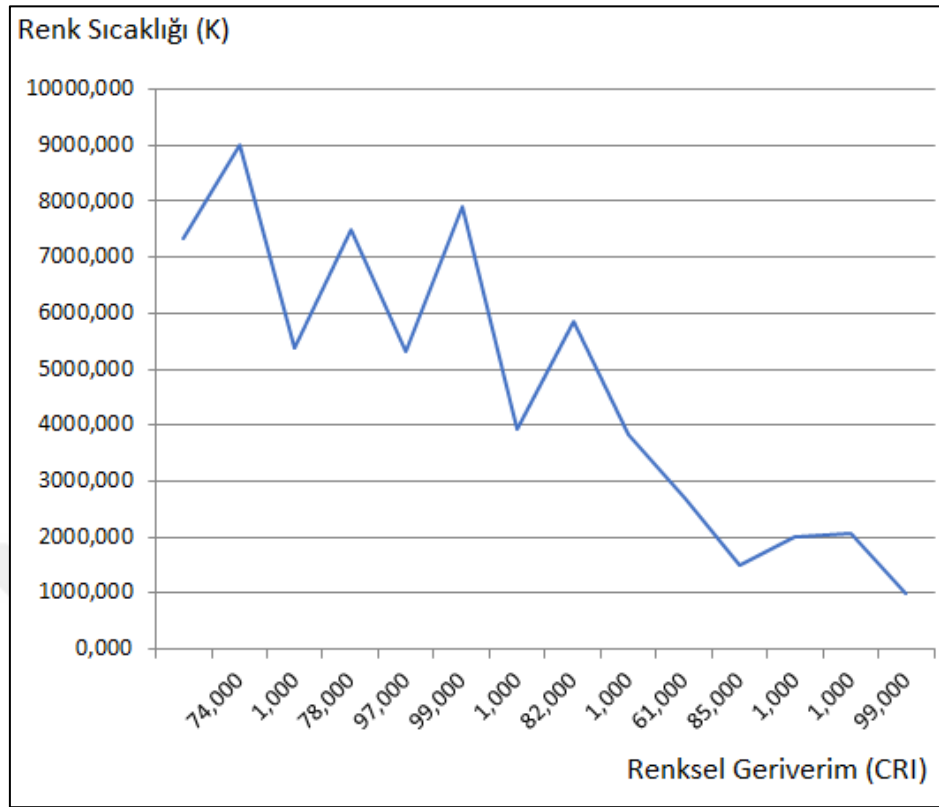
Bunlar;

- 90/100 CRI,
- 80/90 CRI
- 80 ve altı CRI'dır.

90/100 CRI'da renksel geriverim en iyi değerdedir. 80/90 CRI'da renksel geriverim iyi değerde olurken 80 ve altı CRI'da renksel geriverim daha olumsuz değerdedir.

Işık kaynaklarından çıkan ışık ışınlarının enerji özelliklerini incelemeye yönelik olarak gerçekleştirilen uygulamada, güneş kaynaklı ışınlar da dahil olmak üzere farklı lamba türlerine ait ışık kaynaklarının ışınım özellikleri ve enerji özellikleri burada ele alınmaktadır. Burada, dikkate alınan ışınım türleri için; lamba veya ışık kaynağı türü, ışık şiddeti (fcd), aydınlık düzeyi (E), renk sıcaklığı (K), renksel geri verim (% CRI), E (EMK), I (A), P (W), E (Wh), dalga boyu (λ) verilerinin ele alındığı bir yaklaşım esas alınmaktadır.

Şekil 4.6.'da spektrokolorimetre ile ölçümünü yapmış olduğumuz ışık kaynakları için renksel geriverim- renk sıcaklığı ilişkisi grafiksel olarak yorumlanmıştır.



Şekil 4.6. Uygulamalardan elde edilen renk sıcaklığı-renksel geri verim arasındaki ilişki

Işık kaynaklarından çıkan ışık ışınlarının enerji özelliklerini incelemeye yönelik olarak gerçekleştirilen uygulamada, güneş kaynaklı ışınlar da dahil olmak üzere farklı lamba türlerine ait ışık kaynaklarının ışınım özellikleri ve enerji özellikleri burada ele alınmaktadır. Burada, dikkate alınan ışınım türleri için; lamba veya ışık kaynağı türü, ışık şiddeti (fcd), aydınlık düzeyi (E), renk sıcaklığı (K), renksel geri verim (% CRI), E (EMK), I (A), P (W), E (Wh), dalga boyu (λ) verilerinin ele alındığı bir yaklaşım esas alınmaktadır.

5. SONUÇ

Işık türleri ele alındığında içerdiği enerji miktarlarının ayrıca ışık kaynağına da bağlı olduğu görülmektedir. Diğer bir ifade ile ışık türlerinin içerisinde bulunduğu enerji oranı radyasyon yayılımı ya da fotonik enerji miktarı ile ilişkilidir. Işık türleri için enerji ilişkisinin ele aldığımızda bir ışık türü diğerine göre daha fazla oranda enerji yayıyorsa bunun sebebini öncelikle ışık kaynağında aramamız gerektiği kuramına bu çalışma sonucunda ulaşılmıştır. Bir ışık kaynağının vermiş olduğu ışıınım türünün yarısına, yaymış olduğu ısı enerjisinin (veya diğer bir ifade ile radyasyon-fotonik enerji) büyüklüğü aslında ışıınım türünün de enerji seviyesini belirleyici bir etken olmaktadır. Bu duruma lambalar kapsamında baktığımızda daha belirgin veriler ortaya çıkmaktadır.

Gerçekleştirilen çalışmalarda elde edilen veriler incelendiğinde, ultraviyole ya da bu dalga boyuna yakın mavi tonlu ışıklar için enerji büyüklüklerinin en fazla güneş ışığı kaynaklı olandan başlamak üzere, enkandesan, floresan ve led temelli olmak üzere sıralandıkları görülmektedir. Spektrokolorimetre ölçümlerinde aynı dalga boyuna sahip mavi ışık türleri için fotovoltaiik esaslı olarak elde edilen en az enerji led temelli ışık kaynakları esaslı iken, en çok güneş esaslı ışıınımlarda olmaktadır. Diğer ışıınım türlerinde de fotovoltaiik esaslı enerji ölçümü yapıldığında yukarıdaki sıralamanın geçerli olduğu görülmektedir.

Işık akısının elde edildiği lamba kaynaklarının sıcaklıklarının fazla olması bu lambaların istenilen ışık türü dışında, daha fazla enerji yayılımında gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Bu durum tespitine yönelik yapılan uygulamalarda; ışık akısı, ışık rengi gibi büyüklüklerinin yanı sıra $t \rightarrow \infty$ 'da elde edilen ışık kaynağı sıcaklık verileri değerlendirilmiştir.

Elde edilen veriler değerlendirildiğinde, bir ışık türü için sadece dalga boyuna bağlı enerji ilişkilendirilmesinin yetersiz kaldığı, ışık kaynağından yayılan radyasyon ya da fotonik enerji ile bu ilişkinin daha net olarak tanımlanabileceği anlaşılmaktadır. Bu durum, fotovoltaiik enerji elde etmede güneş ve güneşi direkt görmenin önemini daha iyi ortaya koymaktadır.

Tüm bu açıklamalarda elde edilen hipotez enerji yayılımı olarak farklı ortam ya da elemanlar yardımıyla başka enerjilere dönüşebilen radyasyon yayılımının temel ışık türlerinden farklı olarak ele alınmaları gerektiğidir. Her ne kadar ışıınım türlerinin kendileri de bir enerji yayılımının sonucu ortaya çıkmış olsalar da, fotovoltaiik olarak değerlendirilebilen

enerji yayılımları çok daha büyük oranları kapsamaktadır. Fotovoltaik olarak değerlendirilebilen enerji yayılımları ışının türüne göre değil, kaynağına göre bu ışın türleri ile birleşik olarak ortaya çıkmaktadır.

Yapılan deneysel ölçümler sonucunda, ışık şiddeti değerini en az infrared türü ışınım verirken, en fazla metal halide vermiştir. Aydınlik düzeyi değeri de benzer biçimde ışık şiddetindeki gibi en az infrared türü ışınımından, alınırken en fazla metal halide lamba türünden alınmıştır. Renk sıcaklığı açısından kıyaslama yapacak olursak, en fazla değeri 9000K ile mavi floresan lambadan, en az değeri ise 1000K ile infraredten alınmıştır. Renksel geri verimlerine bakacak olursak en fazla değeri %99 ile gaz lambası ve ikinci açık güneşten alınırken, en az değeri %1 ile floresan kırmızı, mavi, pembe ve yeşil renkten, infraredten ve yeşil ledden alınmıştır.

EMK kıyaslaması yaptığımızda, en düşük değeri 0,08 ile ikinci bulut arkası güneşe ait iken, en yüksek değeri metal halideye aittir. Akımlarına baktığımızda, değerler birbirine çok yakın olup, en az değeri flüoresan warm light, pembe, yeşil, mavi, kırmızı, sıcak ve soğuk beyaz renkten alınırken, en yüksek değeri ikinci açık güneşten alınmıştır. Son olarak dalga boyu kıyaslaması yapacak olursak, en yüksek dalga boyu değeri gaz lambasında ölçülmüşken en az değeri, flüoresan soğuk beyaz renginde ölçülmüştür.

Farklı ışık kaynakları için enerji-dalga boyu ilişkisi ele alındığında, aynı dalga boyu için ışık kaynağı farklılığının enerji oranını etkileyebildiği görülmüştür. Dalga boyundaki küçülme ya da yapısal ışık frekansındaki artışın, enerji miktarında, lineer olmayan fonksiyonel bir artışa neden olduğu farklı ışık kaynaklarında yapılan tespitlerle de belirlenmiştir. Farklı ışık kaynakları için dalga boyundaki küçülme ya da yapısal ışık frekansındaki artışa bağlı enerji miktarlarındaki fonksiyonel değişimlerin de ışık kaynağı türüne göre genlik olarak da ayrıca farklı oldukları tespit edilmiştir. Bu farklılıkların, ışık kaynaklarının foton yayılım özelliklerinin birbirlerinden farklı olmalarının bir sebebi olduğu anlaşılmıştır.

KAYNAKÇA

- Aaboud, M., Asimakopoulou, E. M., Bergeås Kuutmann, E., Bokan, P., Brenner, R., Ekelöf, T., ... & Sales De Bruin, P.** (2019). Electron and photon energy calibration with the ATLAS detector using 2015-2016 LHC proton-proton collision data. *Journal of Instrumentation*, 14.
- Akkoyun, S.** (2006). Uzayda gama ışını ölçümleri-bir geant simülasyonu (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Arkan, S.** (2020). Güneş Işınımının Renksel Özelliklerinin Fotovoltaik Enerji Üretimine Etkileri.
- Ashkin, A.** (1972). The pressure of laser light. *Scientific American*, 226(2), 62-71.
- Chhajed, S., Xi, Y., Li, Y. L., Gessmann, T., & Schubert, E. F.** (2005). Influence of junction temperature on chromaticity and color-rendering properties of trichromatic white-light sources based on light-emitting diodes. *Journal of Applied Physics*, 97(5), 054506.
- Chen, C., Zheng, S., & Song, H.** (2021). Photon management to reduce energy loss in perovskite solar cells. *Chemical Society Reviews*, 50(12), 7250-7329.
- Diffey, B. L.** (2002). Sources and measurement of ultraviolet radiation. *Methods*, 28(1), 4-13.
- Genç, B.** (2006). Elektromanyetik spektrumun x-ışını ve görünür bölgesinde, ortamlardan yayılan fotonları kaydetmek için spektrometre ve görüntüleme sistemlerinin tasarımı (Master's thesis, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Güler, Ç., Çobanoğlu, Z., & Baskı, B.** (1994). Elektromanyetik radyasyon SB, Ankara.
- Harran Üniversitesi (H.Ü.)** (2006), “Yarı İletkenler” /30.07.2024 21:10 <http://eng.harran.edu.tr/~nbesli/SEG/02.YariIletkenler.pdf>]
- Herdem, A.** (2010), Bilgisayar Destekli Görsel Efekt Tasarımı ve Sinemaya Etkileri.
- Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.
- <https://images.app.goo.gl/fRR6yTSukuKhyriv9/27.12.2023> 16:15
- https://www.enerjiportali.com/gunes-enerjisi-nedir-4/>, /30.07.2024 17:20
- <https://myhairstyles.ru/info/v-chem-izmerjaetsja-gamma-izluchenie/18.12.2023> 22:30

- Jaeger, G.** (2009) Double-Slit Experiment (or Two-Slit Experiment) Compendium of Quantum Physics. Berlin, *Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg*, 174-178.
- Kaewkhao, J.** (2018). Energy transfer based emission analysis of Eu³⁺ doped Gd₂O₃-CaO-SiO₂-B₂O₃ glasses for laser and X-rays detection material applications. *Journal of Luminescence*, 194, 75-81.
- Kusza, K.** (2004). Using radio waves to study planetary atmospheres *IEEE Potentials*, 23(2), 39-40.
- Lozano, G., Louwers, D. J., Rodríguez, S. R., Murai, S., Jansen, O. T., Verschuuren, M. A., & Gómez Rivas, J.** (2013). Plasmonics for solid-state lighting: enhanced excitation and directional emission of highly efficient light sources. *Light: Science & Applications*, 2(5), e66-e66.
- Ohtaka, K.** (1979). Energy band of photons and low-energy photon diffraction. *Physical Review B*, 19(10), 5057.
- Ohtaka, K.** (1980). Scattering theory of low-energy photon diffraction. *Journal of Physics C: Solid State Physics*, 13(4), 667.
- Sabra, A.I.** (1989) The Optics of Ibn al-Haytha, The Warburg Institute, Londra, 231
- SALMANOĞLU F., ÇETİN N.S.** (2009) Rüzgar-Fotovoltaik Otonom Hibrid Güç Sistemlerinin Optimum Maliyetle Boyutlandırılması Üzerine Paket Bir Yazılım, Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, Bornova İZMİR
- Sun C. C., Jiang C. J., Chen Y. C., Yang T. H.** (2014), Glare Effect for Three Types of Street Lamps Based on White Led, *Optical Review*, 3:1-5
- Tuğçe Arslan (T.A)** (2015) X-Işımları ve Kullanım Alanları [Erişim:28/05/2023 <https://neu.edu.tr/wp-content/uploads/2015/11/BMT-211-ders-notu-X-Isinlari.pdf>]
- Wang, Z., Zhu, C. Y., Mo, J. T., Fu, P. Y., Zhao, Y. W., Yin, S. Y., ... & Su, C. Y.** (2019). White-Light Emission from Dual-Way Photon Energy Conversion in a Dye-Encapsulated Metal–Organic Framework. *Angewandte Chemie International Edition*, 58(29), 9752-9757.
- Wantana, N., Kaewnuam, E., Damdee, B., Kaewjaeng, S., Kothan, S., Kim, H. J., & Whetsel, K.B.** (1968). Yakın kızılötesi spektrofotometri. Uygulamalı Spektroskopi İncelemeleri, 2(1).

Yavuz, S. (2012). Kuantum kuyularında lazer etkisi (Master's thesis, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

Ye, Y., Wang, S., & An, H. (2019). White-light emission and chromaticity characterization of Dy³⁺ doped fluoride glass for standard white light source. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 526, 119697.

Yıldız, A. (2015). Planck Sabiti ve Kuantum Fiziği İçin Önemi.

Yücel Koçyiğit (Y.K.) (2013), “Elektronik Ders Notları” /31.07.2024 19:00
<http://yucelkocyigit.cbu.edu.tr/elektronik2.pdf>

