

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**GÜNEŞ IŞINIMININ RENKSEL ÖZELLİKLERİNİN
FOTOVOLTAİK ENERJİ ÜRETİMİNE ETKİLERİ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

SERKAN ARKAN

TEZ DANIŐMANI
Dr. Öğr. Üyesi Nazım İMAL

BİLECİK, 2020
Ref. No. : 10356916

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**GÜNEŞ İŐİNİMİNİN RENKSEL ÖZELLİKLERİNİN
FOTOVOLTAİK ENERJİ ÜRETİMİNE ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SERKAN ARKAN

TEZ DANIŐMANI
Dr. Öğr. Üyesi Nazım İMAL

BİLECİK, 2020

BEYAN

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada, tez içindeki tüm verileri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun olarak sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmada kullanılmadığını beyan ederim.

Serkan ARKAN

27/07/ 2020

ÖN SÖZ

Çalışmalarım süresince emek vererek katkıda bulunan ve desteğini esirgemeyen Tez hocam Nazım İMAL'a lisans öğrenimim sırasında dersime giren tüm Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi'nin değerli mensuplarına, bu yaşıma kadar üzerimde sayılamayacak emeği olan babama, anneme, kardeşlerime, hayat arkadaşım Semra ARKAN ve kızım Aslı ARKAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Serkan ARKAN

27/07/2020



ÖZET

GÜNEŞ IŞINIMININ RENKSEL ÖZELLİKLERİNİN FOTOVOLTAİK ENERJİ ÜRETİMİNE ETKİLERİ

Dünyanın enerji sağlayıcısı olan Güneş, bizler için direkt ya da endirekt olarak birçok enerji türünün asıl kaynağı olmaktadır. Güneş enerjisi bu faydalarına ilaveten yaklaşık 20-30 yıldır elektrik enerji üretiminde de bir kaynak olarak karşımıza çıkmaktadır. Fotovoltaik panellerle gerçekleştirilen bu elektrik enerjisi üretim teknolojisi, gerek panellerin enerji verimliliğindeki artış gerekse maliyetlerindeki ucuzlama ile son yıllarda yaygınlaşma eğilimine girmiştir. Bu çalışmada, fotovoltaik panellerde enerji üretim esasları incelenerek, güneş ışınımının fiziksel parametrelerinin elektrik enerjisi üretimine etkileri ele alınmıştır. Güneş ışınımının fiziksel parametreleri olarak, ışınım şiddetinin yanı sıra, renksel özelliklerinin de ele alındığı bir çalışma yürütülmüş ve elde edilen veriler açıklanmıştır. Maviye yakın renksel dalga boylarında ışımsal enerji oranındaki artışa rağmen fotovoltaik enerji üretiminin daha az olmasının, fotovoltaik panellerin daha az ışık akısına maruz kalmasından kaynaklandığı açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik enerji, Foton, Dalga boyu

ABSTRACT

THE EFFECTS OF THE SOLAR BEAM COLOR CHARACTERISTICS TO THE PHOTOVOLTAIC ENERGY PRODUCTION

The energy supplier of the world, the Sun, is the main source of many types of energy directly or indirectly for us. In addition to these benefits, solar energy has been a source of electricity for about 20-30 years. This electrical energy production technology, which is realized with photovoltaic panels, has become more widespread in recent years both the increase in energy efficiency of the panels and fall of the cost. In this study, the effects of physical parameters of solar radiation on electrical energy production are investigated by examining the principles of energy production in photovoltaic panels. As the physical parameters of solar radiation, a study was conducted in which the color properties of the radiation as well as the radiation intensity were handled and the data obtained were explained. Despite the increase in the radiative energy ratio in the color wavelengths close to blue, it was explained that less photovoltaic energy production was caused by less light flux of the photovoltaic panels.

Keywords: Photovoltaic energy, Photon, Wavelength

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖN SÖZ	I
ÖZET	II
ABSTRACT	III
İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	V
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	VII
1.GİRİŞ	1
1.1. Literatür Çalışması	2
1.2. Çalışmanın Kapsamı	2
1.3. Çalışmanın Yöntemi	3
2. IŞIK VE DALGA BOYU	4
2.1. Işık ve Yapısal Özellikleri	6
2.2. Dalga Boyu ve Işın Türleri	7
2.3. Işığın Davranışı	8
2.3.1. Işığın kırılması	8
2.3.2. Işığın yansımaları	9
2.3.3. Işığın yutulması	10
2.3. Foton Yapı	11
3. FOTON VE FOTOVOLTAİK ENERJİ	13
3.1. Işık ve Hareket Hızı	13
3.2. Foton ve Fotonik Enerji	14
3.3. Kara Cisim ve Planck Sabiti	15
3.4. Fotovoltaik Hücreler	17
3.4.1. P tipi ve N tipi yarıiletken maddeler	18
4. GÜNEŞ IŞINIMININ RENKSEL DEĞİŞİMİ VE FOTOVOLTAİK ENERJİ	20
4.1. Güneş Işığının Dalga Boyu ve Renksel Değişimleri	21
4.2. Fotovoltaik Enerji Üretimi	22
4.3. Uygulama Yöntemi	23
4.4. Güneş Işınımının Farklı Dalga Boylarında FV Enerji Üretim Analizleri	26
5.SONUÇ	31
KAYNAKÇA	32
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: Işık tayfı	4
Şekil 2.2: Güneşin doğuşu esnasında kırmızıya yakın renk tonları	5
Şekil 2.3: Güneşin batışı esnasında kırmızıya yakın renk tonları	5
Şekil 2.4: Işın türleri	7
Şekil 2.5: Görünür ışık ve renkler	7
Şekil 2.6: Işığın doğrusal hareketi	8
Şekil 2.7: Beyaz renkteki ışığın ve diğer renkteki ışıkların kırılması arasındaki fark	9
Şekil 2.8: Işığın yansımaları	10
Şekil 2.9: Işığın kırılması, yansımaları ve yutulması	11
Şekil 2.10: Parçacık enerjisi ve foton enerjisi	12
Şekil 3.1: Fotovoltaik yapı	14
Şekil 3.2: Enerji dalga boyu ilişkisi	15
Şekil 3.3: Fotovoltaik panel ve yarıiletken yapı	17
Şekil 3.4: Fotovoltaik eşdeğer devre	18
Şekil 3.5: N tipi yarıiletkenin oluşturulması	19
Şekil 3.6: P tipi yarıiletkenin oluşturulması	19
Şekil 4.1: Farklı dalga boylarında algılanan renk sıcaklıkları	21
Şekil 4.2: Elektron akışı ve elektriksel akım	22
Şekil 4.3: Uygulamada kullanılan fotovoltaik panel	23
Şekil 4.4: Uygulamada kullanılan ekipmanlar	23
Şekil 4.5: Uygulama devresi	24
Şekil 4.6: Sıcak renk aralıklarında elde edilen fotovoltaik elektriksel güç	25
Şekil 4.7: Güneş ışığı renk aralıklarında elde edilen fotovoltaik elektriksel güç	25
Şekil 4.8: Soğuk renk aralıklarında elde edilen fotovoltaik elektriksel güç	26
Şekil 4.9: Sıcak renk aralıklarında fotovoltaik elektriksel güç tahmini	28
Şekil 4.10: Güneş ışığı renk aralıklarında fotovoltaik elektriksel güç tahmini	28
Şekil 4.11: Soğuk renk aralıklarında fotovoltaik elektriksel güç tahmini	29

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 4.1: Uygulama verileri	24
Çizelge 4.2: Regresyon analiz eşitlikleri	27
Çizelge 4.3: Farklı aydınlık düzeyleri ve dalga boyları için fotovoltaik enerji tahminleri	27



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

nm	: Nanometre
E	: Cismin enerjisi
m	: Cismin kütlesi
c	: Işık hızı
h	: Plank sabiti
f	: Frekans
λ	: Dalga boyu
P	: Momentum
V	: Gerilim, volt
I	: Akım
R	: Yük, direnç
e	: Elektron
mA	: Miliamper
EMK	: Elektro motor kuvveti
W	: Watt
E	: Aydınlatma düzeyi
K	: Renk sıcaklığı
Ra	: Renksel geri verim

GİRİŞ

Dünyamız için en önemli ışık kaynağı güneştir. Güneş aynı zamanda büyük bir de enerji kaynağıdır. Günümüzde temiz ve sürekli bir kaynak olduğu için de enerji üretiminde önemli bir yere sahiptir. Güneşten enerji üretim oranı her an aynı değildir. Günün belli saatlerinde farklılık gösterir. Hatta mevsim koşullarına göre bu saat aralıklarında da farklılıkları oluşur. Bu farklılıkları ele alırken mevsim koşulları atmosferdeki değişimler ve benzeri gibi durumlar incelenebileceği gibi güneş ışınlarının farklı zaman dilimlerindeki renkleri de incelenebilir (Doğan, 2011: 48).

Güneşten enerji üretiminde acaba güneş ışınlarındaki renkler önemli mi gibi bir soru da karşımıza geliyor. Fotovoltaik panellerin üretimde en önemli olduğu zaman dilimlerinde güneşin rengi önemli mi gibi bir soru ile karşılaşabiliriz.

Newton, Huygens gibi pek çok bilim adamı ışığın davranış şeklini kanıtlamak için pek çok çalışma ve deneyler yapmıştır. Işığın yayımsal davranış biçimi ile ilgili çalışmalar günümüzde de devam etmekte olup, dalgacık ya da parçacık şeklinde yayılım gösterdiği üzerinde tam olarak yargıya varılmış bir konu değildir. Birçok alanda kabul edildiği üzere, bu çalışmada da dalgacık teorisi kavramlı olarak ışılın yapısı esas alınarak çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Dalgacıklı yapıya sahip olduğu kabul edilen ışık enerjisi, dalgacıklı yapısı nedeniyle farklı frekanslarda farklı fiziksel etkiler oluşturur. Farklı dalgacık yapılarındaki ışık türlerinin çok küçük bir dalga boyu aralığındaki kısımları insan gözü tarafından algılanabilir. 380 nm ile 680 nm arasında yer alan bu spektrumun içindeki farklılıklar, renkler olarak tanımlanır. (Abbak, 2007: 206).

Işığın sahip olduğu farklı dalga boylarındaki enerji karakterleri fotonik özellikleri ile ele alınır. Bu sebeple, üzerinde halen çalışılan ve gizemleri çözülmeye gayret edilen fotonların ve fotonik enerjinin ele alınması gerekir.

Kütlesi olmayan, enerjisini hareketlerinden alan parçacıklı yapılara foton adını verebiliriz. Işığın dalgacıklı yapısı, farklı ışık türü ya da renkte adlandırılmasını ifade ederken, hareketinden kaynaklanan enerjisi foton olarak ele alınmaktadır.

Burada gerçekleştirilen çalışmada, farklı renksel yapıların sahip olduğu fotonik enerji miktarı ele alınmaya çalışılarak bu kapsamda araştırmalar, uygulamalar ve incelemeler gerçekleştirilmiştir.

Bu kapsamda gerçekleştirilen çalışmalarda ikinci bölümde ışığın yapısı, dalgacıklı frekans özelliklerinin tanımlama ve renk yapılarındaki etkisi ele alınmıştır.

Üçüncü bölümde foton ve fotonik enerji kavramı açıklanmaya çalışılmıştır. Işığın frekanslı yapısı, planck sabiti ile birlikte ele alınarak enerji yapısı ele alınmıştır. Fotovoltaik enerji üretiminde panelin maruz kaldığı ışınımdaki fotonların sahip olduğu enerjinin miktarı da önem arz etmektedir. Daha önceki bölümlerde de bahsedilen ışığın dalgacıklı yapısı sebebiyle fotonların dalga boyları yani frekansları enerji seviyelerinin tespit edilmesi için kullanılmaktadır. Plank sabiti ve fotonun frekansı kullanılarak sahip olduğu enerji miktarı tahmin edilebilmektedir. Plank sabiti ile yapılmak istenen enerji ile ışınının frekansı arasındaki ilişkiyi açıklamaktır.

Dördüncü bölümde farklı dalga boylarında tanımlanan Işık yapıları için gerçekleştirilen enerji analizleri ele alınmıştır. Böylece ışığın dalga boyu ve yoğunluğunun enerji miktarına etkileri incelenmiştir.

Çalışmaya katkısı bulunan yayınlar ele alındığında :

1.1. Literatür Çalışması

Fotovoltaik enerji üretimi üzerine yapılan çalışmalar ele alındığında; öncelikle renksel dalga boyu ile ilgili bir çalışmaya rastlanılmamışsa da, panellerin fiziksel özelliklerinin, maruz kaldığı güneş ışınımı büyüklüğünün, ışınının etki ettiği açı değerlerinin ve termal sıcaklık parametrelerinin fotovoltaik enerji üretimine etkilerinin incelendiği çalışmalar görülmektedir. Bu kapsamda; N. İmal, vd. (2015), gerçekleştirdikleri “Fotovoltaik Hücrelere Uygulanan Işınım Yapısının Enerji Dönüşümüne Etkileri” adlı çalışmalarında, fotovoltaik hücrelerin enerji üretim yetenekleri ile ilgilenmişlerdir.

1.2. Çalışmanın Kapsamı

Fotovoltaik enerji üretiminde, özellikle güneş ışınımının farklı dalga boylarındaki renksel özellikleri dikkate alınarak enerji üretimindeki verimliliğe etkisi çalışmanın ana kapsamını oluşturmaktadır. Değerlendirmesi yapılan bu analizlerle

güneş ışığının renksel ve boyutsal değişiminde, elektriksel enerji artışı ve azalma gerçekleşen bölgeler ele alınmaktadır. Mevcut uygulamalardan farklı olarak, çalışmada ışınım şiddetinin yanı sıra, ışınımın dalga boyu ve renk özelliklerinin enerji üretimindeki verimliliğe etkisini tespit etmek amaçlanmıştır.

1.3. Çalışmanın Yöntemi

Fotovoltaik enerji üretiminde, güç ölçümleri yapılırken eş zamanlı olarak ışınımın renksel özellikleri de ölçülerek değerlendirilmiştir. Fotovoltaik enerji üretiminde mevcut şartlarda verimliliğin en uygun olduğu koşullara ilaveten renksel özelliklerin etkilerine göre panellerde yapılabilecek renk filtreleri, ışık kırılmalarını düzenleyecek prizma ilaveleri vb. gibi eklentilerle verimliliğe katkı sağlamak amaçlanmaktadır.

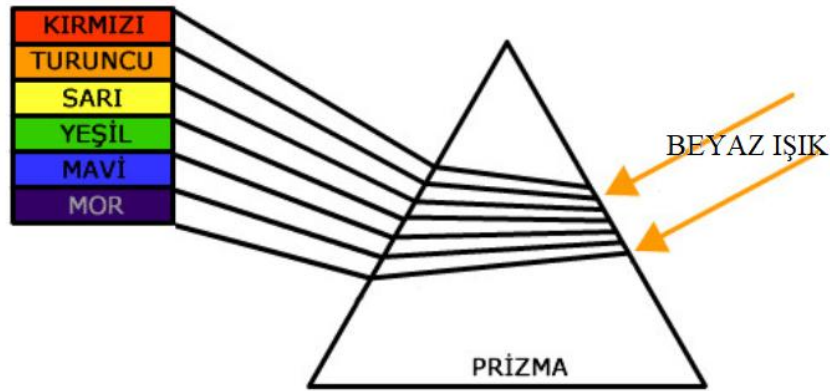
Fotovoltaik enerji üretiminde mevcut şartlardaki üretim şekline müdahale etmeden, güneş ışınımının tüm özellikleri dikkate alınarak, verimlilikteki etkisinin nasıl olduğu incelenerek değerlendirmeler yapılmıştır. Daha soğuk renkler olan dalga boyu kısa ve enerjisi yüksek mavi tonlardaki renklerde enerji üretiminin yüksek olduğu yada farklı bir ifadeyle mavi tonlardaki renklerin enerji üretimindeki verimliliğinin yüksek olduğu görülmüştür. Daha sıcak kırmızıya yakın renklerde ise enerji üretimindeki verimliliğinin düşük olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmada güneş ışınımın şiddeti, açısı, panel özellikleri, panel sıcaklığı gibi mevcut uygulamalarda verimliliğe etki ettiği zaten bilinen faktörlerin yanında renksel özelliklerinde ölçülmesiyle etkisinin olduğu görülmüştür.

2. IŞIK VE DALGA BOYU

Işık, eğer etkileşimde bulunacağı bir ortamla karşılaşmazsa doğrusal dalgalar halinde ilerler. Güneş ışınımı da aynı şekilde ilerlemektedir. Fakat ışınlar ilerlerken atmosferde karşılaştıkları çeşitli cisim, gaz vb. ortamlarla etkileşim sonucunda kırılmalara uğrarlar. Böylelikle bu ışınları günün belli saatlerinde farklı renklerde görebiliriz. Isaac Newton'un 1600'lü yıllarda yaptığı tespitte olduğu gibi, karanlık bir ortama giren ışık prizmadan geçtiği zaman renklere ayrılır. Mor ve kırmızı arasında değişen bu renkler, tam tersi olarak tekrar prizmadan geçirildiğinde ise tekrar beyaz renk elde edilebilmektedir.

Görülebilir dalga boylarından daha düşük ve daha yüksek dalga boylarındaki ışık türlerini ise gözle algılayamayız. Güneşten dünyamıza sadece beyaz renkli bir ışık gelmediği gibi, görülebilir sınırların dışında da ışın türleri gelmektedir. Başka bir ifadeyle güneş ışınımı gözle görebildiğimiz renkte ışığı barındırmasının yanında çeşitli dalga boylarındaki farklı enerji düzeyli ışınım dalgacıklarının bir araya geldiği bir ışık demetidir. Görülebilir beyaz ışığın tayfsal olarak bölündüğü renksel dizilim şekil 2.1'de görülmektedir.



Şekil 2.1 Işık tayfı (AB ESBNA, 2013)

Güneş ışınımındaki görünür ışığın renklere göre yapısı incelendiğinde ise mavi tonlu renklere doğru dalga boyunun kısaldığını, buna karşılık frekansın ve enerjinin arttığı anlaşılır. Kırmızı renklere doğru ise dalga boyunun uzadığı, buna karşılık frekansın ve enerjinin azaldığı anlaşılır. Bu sebeple enerjisi kırmızıya göre fazla olan mavi tonlu ışık dalgalarında daha büyük açılarda kırılmalar olmaktadır (Enarun v.d. 2011:144), (Şekil 2.1). Aslında saydam olan dünya atmosferinin mavi renkte görünmesinin sebebi, budur. Atmosferimiz içerisinde bulunan gazlar ve su buharlarıyla

karşılaşan güneş ışınlarından en çok, enerjisi yüksek olan mavi renkler etkilendiğinden yüksek açıda kırılmaya maruz kalarak, atmosferde daha fazla mesafe kat etmekte ve bunun sonucu olarak atmosferin mavi renkli algılanmasına neden olmaktadır (Şekil2.2).

Dünyanın eksenel eğiminden kaynaklanan dağılımlar nedeniyle, diğer renk tonlarındaki dalga boyları atmosferin üst kısımlarına dağıldığından, Şekil 2.3'de görüldüğü gibi güneş batışı esnasında kırmızı yada kırmızıya yakın renklerde görünür. Güneş ışığının kırmızıya yakın tonlarda algılandığı bu saatlerde ise fotovoltaik enerji oluşumu minimum değerlere yakın olmaktadır (İmal v.d. 2017:8).



Şekil 2.2. Güneşin doğuşu esnasında kırmızıya yakın renk tonları (NTV, 2018)



Şekil 2.3. Güneşin batışı esnasında kırmızıya yakın renk tonları (NTV, 2018)

Işığın yapısı ile ilgili günümüze kadar pek çok deney yapılmıştır. Bu konudaki en temel deneyler Newton ve Huygens tarafından yapılan ışığın dalgacık yapıya mı

yoksa parçacık yapıya mı sahip olduğu konusundaki deneylerdir. Einstein tarafından yapılan deneylerde ise parçacık ve dalgacık yapısının birleşimi üzerinde durmuştur. Tam olarak kesinleşmiş olmayan ışıkla ilgili çalışmalarda yapılan deneylere göre dalgacık ve parçacık yapısında ele alınmaktadır.

Enerji, fizik bilimi kapsamında değerlendirilen bir etki olup, maddeler üzerinde konum değiştirme, sıcaklıklarını arttırma, fark edilebilirlik sağlama gibi etkiler ile ortaya çıkar. Mekanik enerji, ısı enerjisi gibi farklı türlerinin yanı sıra görsel ve işitsel algılamaya yönelik olarak tanımlanan dalgacık yayılımları da mevcuttur. Dalgacık ortaya çıkan türü ise ışık enerjisi olarak ifade edilir.

2.1. Işık ve Yapısal Özellikleri

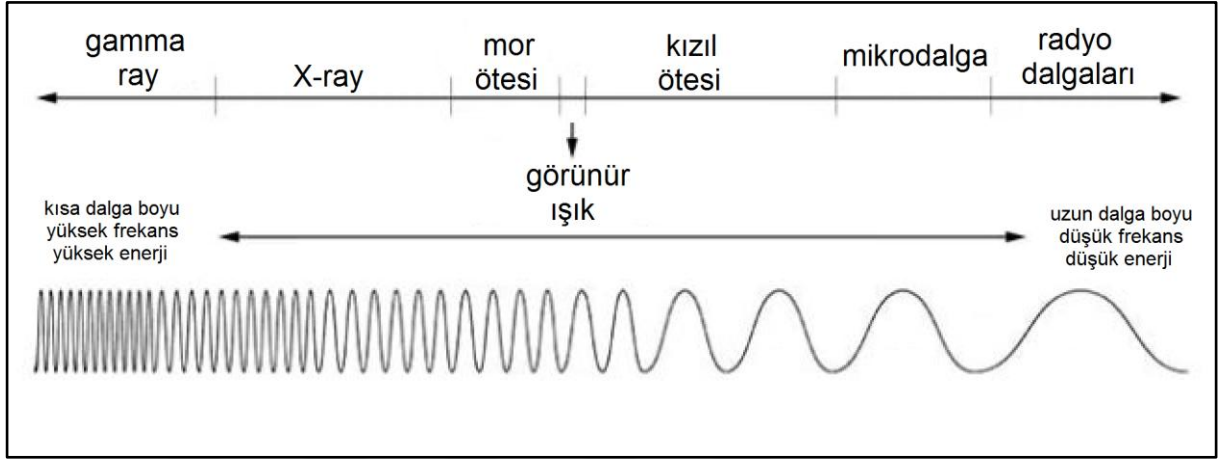
Dalgacık yayılımları esas alınarak incelenen ışık enerjisi aslında çok geniş ölçekteki spektrumsal enerji yayılımlarından ibarettir. Yani, çok küçük dalga boylarından, çok yüksek dalga boylarına kadar geniş bir frekans aralığındaki enerji yayılımları, ışınım türlerinin farklı isim, etki, görünürlük v.b. etkilerini ifade için kullanılır.

Çok geniş ölçekteki bu yayılım frekanslarının minimum değeri tam olarak tanımlanamayacağı gibi maksimum değerleri de tanımlanamaz. Sonsuz küçüklükteki dalga boyları ile sonsuz büyüklükteki dalga boyları arasında, tanımlanabilen kısımlar ancak, belirli dalga boylarına ait sınıflandırılmış etkiler ile adlandırılabilmiştir. İnsan gözünün görebildiği dalga boyu aralığı ultraviyole ışınım başlangıcı 380 nm ile kızılötesi ışınım başlangıcı 680 nm arasında değişkenlik arz eder. Yaklaşık 300 nm dalga boyu aralığına sahip görünür ışınım bölgesindeki alt gruplar ise renkler olarak tanımlanır ve her renk için farklı dalga boyu aralığı mevcuttur.

Işık, göz ve kameralarda oluşturduğu renksel ve görsel etkilerin yanı sıra dalgacıklı ve frekanslı yapısından kaynaklı enerji boyutu ile de tanımlanabilir. Işınımın fotonik yapısından kaynaklanan enerjisi, dalga boyuna ve frekansına bağlı olarak fonksiyonel olarak değişim gösterir. Güneş ışınımı bakımından, dalga boyundaki kısalmaya bağlı olarak artan enerji miktarı 400 nm'ye yakın değerlerde maksimum değerine ulaşırken, 400 nm'den daha küçük dalga boylarında ise tekrar azalma eğilimi göstermektedir (Özbudak, 2003:6).

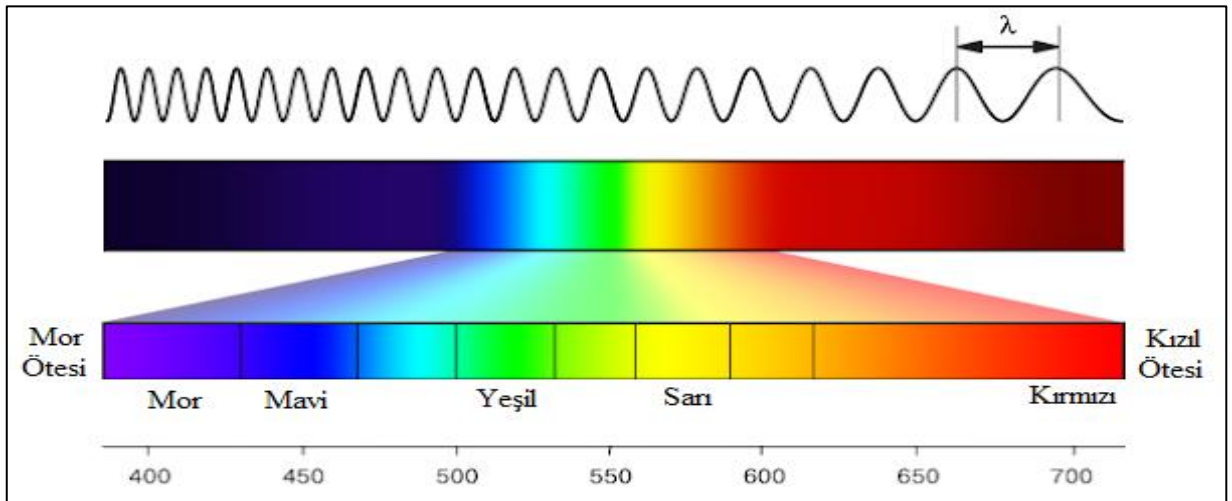
2.2. Dalga Boyu ve Işın Türleri

Diğer enerji türleri gibi, ışık enerjisi de dalgacık hareketleri ile yayılma ve taşınma özelliklerine sahiptir. Fiziksel bakımdan ele alındığında tüm enerji türleri bir ışınım olarak ele alınarak dalga boylarına göre ayrıştırılabilir. Şekilde dalga boylarına göre ışınların enerji yaydıkları görülmektedir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Işın türleri

Işınımsal yapılar frekans, dalga boyu ve enerji boyutunda ele alındığında, şekilde de görüldüğü gibi frekans yükseldikçe ışınımın yayılan enerji miktarının arttığı görülmektedir. Başka bir ifade ile düşük dalga boyuna sahip ışınım yapılarının enerji etkisi yüksek dalga boyuna sahip ışınım yapılarına göre daha yüksektir (S.M Ali, 2013:27).



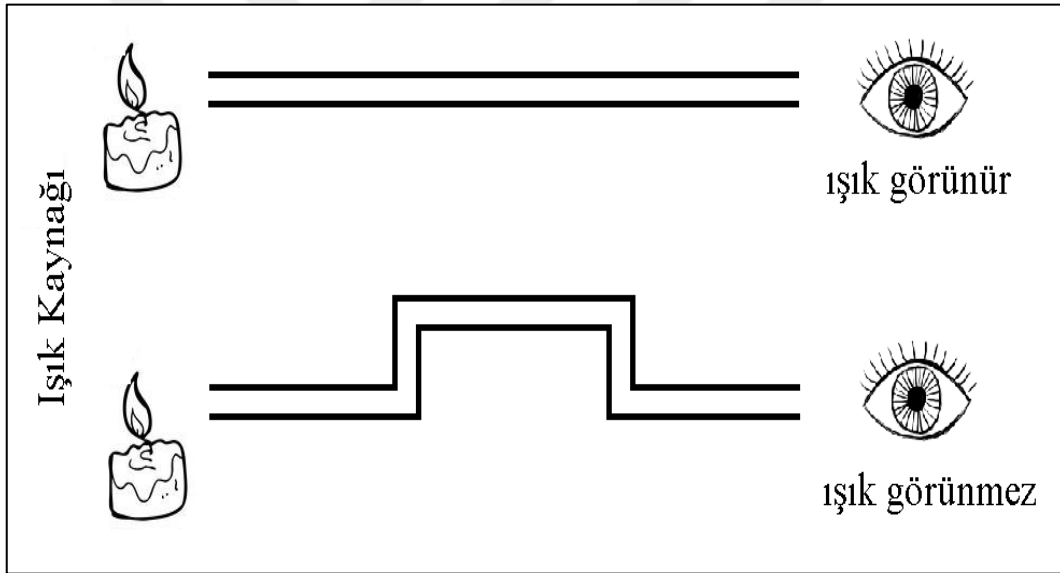
Şekil 2.5. Görünür ışık ve renkler

İnsan gözünün algılayabildiği görünür ışık (380-680 nm) arası ele alındığında ise 380 nm'ye yakın olan mavi renk tonlarındaki ışınım yapılarının 680 nm'ye yakın

renkteki kırmızı ışınım yapılarına göre daha fazla enerji yaydıkları anlaşılacaktır. Işık ve aydınlatma bilimi içerisinde kızgın demir çubuğun yaymış olduğu ışınımın renksel özellikleri ile yapılan tanımlama esaslı olarak; 380 nm'ye yakın ışık renkleri düşük sıcaklığı, 680 nm'ye yakın olan ışık renkleri ise yüksek renk sıcaklığı olarak tanımlanır (Şekil 2.5), (Sudhakar, 2013:37)

2.3. Işığın Davranışı

Işık kaynağından çıktıktan sonra doğrusal olarak hareket eder bu hareket sırasında karşılaştığı cisimlere çarparak hareketini devam ettirir veya sonlandırır. Işık etkileşimde bulunduğu ortamların yapısı ve kendi yapısal özelliklerine göre dağılımda farklı davranışlar sergiler. Burada ışığın dalga boyu, etkileşimde bulunduğu yüzey ya da cisim davranışı etkileyen ana faktörlerdir. Işığın doğrusal hareketi şekildeki basit deneyde de görülmektedir (Şekil 2.6), (Çekmen, 2014:13).



Şekil 2.6. Işığın doğrusal hareketi

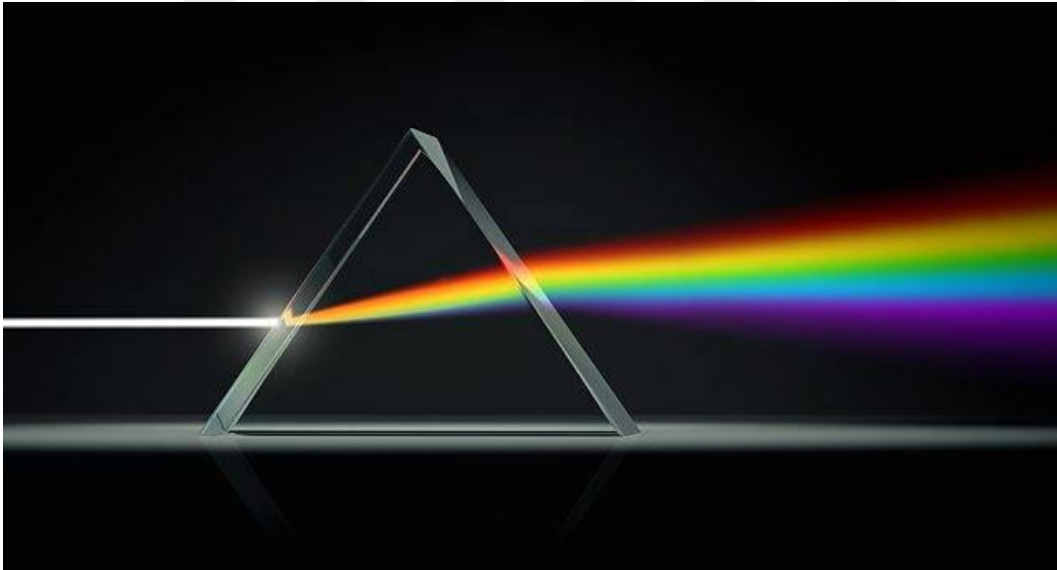
2.3.1. Işığın kırılması

Işığın kırılma olayı saydam ortamlarda gerçekleşir. Işık yoğunluğu farklı olan saydam bir cisim veya yüzeyle karşılaşınca kırılmaya uğrar. Bunun temel sebebi ise ışığın hareket hızının farklı ortamlarda değişiklik göstermesidir. Işığın daha az yoğun ortama ya da daha çok yoğun ortama geçiyor olması da kırılma açısından önemlidir. Işık, kırılmadan sonra farklı bir açı ile aynı düzlemde ilerlemeye devam eder. Düzlemle karşılaştığı zaman bir kısmı ise yansiyabilir. Ortam yoğunluğuna göre ışığın hızındaki

değişim oranında kırılma açısı da değişecektir. Işık daha yoğun bir ortama geçerken hızı azalacaktır (Sabra, 1989:193).

Bahsedilenlerden farklı olarak ışığın karşılaştığı ortama temas etme açısı da ışığın kırılma oranını değiştirir. Eğer ışık karşılaştığı ortama dik olarak gelirse herhangi bir kırılmaya uğramayacaktır. Sadece hızında değişiklik olacaktır.

Beyaz ışık kırılmaya uğradığı zaman renklere ayrılır. Yağmurdan sonra oluşan gökkuşağı bunun en güzel kanıtlarından birisidir. Tıpkı Newton'un prizma deneyinde olduğu gibi güneş ışıkları karşılaştıkları su damlacıklarıyla prizmada olduğu gibi renklere ayrılarak gökkuşağının oluşmasını sağlarlar. Yine aynı şekilde ufuk çizgisinin kırmızıya yakın olduğu güneşin doğuş ve batış zamanlarında da güneş ışıkları kırılmaya uğrarlar. Beyaz ışıktan farklı olarak diğer renkteki ışıklar ise aynı renkte kırılırlar. Şekil 2.7'de görüldüğü gibi prizmadan geçirilen beyaz ışık farklı renklere ayrılırken, diğer renkler aynı prizmadan geçirilince yine kendi renginde kırılmaya uğrarlar (Herdem, 2010:56).



Şekil 2.7. Beyaz renkteki ışığın ve diğer renkteki ışıkların kırılması arasındaki fark (C.K., 2016)

2.3.2. Işığın yansımaları

Işığın yansımaları parlak olan yüzeylerde yada saydam olmayan yüzeylerle karşılaştığı zaman gerçekleşir. Burada parlak yüzey olup olmaması ışığın yansımaya şeklini değiştirir. Yüzey parlak ise düzgün bir yansımaya gerçekleşirken, yüzey pürüzlü

ise yansıma dağınık olur. Yansıma olduğu zaman ışık hareket ettiği düzlemden ayrılarak farklı bir düzlem boyunca hareket eder. Yansımada ışığın çarptığı düzleme geliş açısı önemlidir. Çarptığı düzleme dik olarak gelirse tam olarak yansiyacak ve geldiği yönün tam tersine hareket edecektir. Farklı bir açıyla çarptığında ise hareket ettiği düzlemden farklı olarak belli bir açıyla hareketine devam edecektir.

Saydam bir ortamın yüzeyini görülebilmesi ışığın yansıması sayesinde gerçekleşmektedir. Yine aslında kendisi bir ışık kaynağı olmayan ayın sanki bir ışık kaynağı olarak görülmesi de ışığın yansıması sayesinde olmaktadır.

Yansıma olayında kırılmada olduğu gibi ışığın renginde herhangi bir değişme olmaz. Buda bize yansıyan ışığın hızında bir değişme olmadığını gösterir. Yani ışık yansıdıktan sonra mevcut enerjisini ve frekansını korur. Yansıyan ışıkta bu değişikliklerin olmadığı Şekil 2.8'de de görülmektedir. Şeffaf olan göl yüzeyinde çevresinde bulunan cisimlerin görüntüleri olduğu renklerde yansımaktadır. Böylelikle aslında rengi olmayan şeffaf göl yüzeyini çevresinde bulunan cisimlerle aynı renkte görüyoruz (Sun v.d. 2014, Davoudian v.d. 2014: 699).



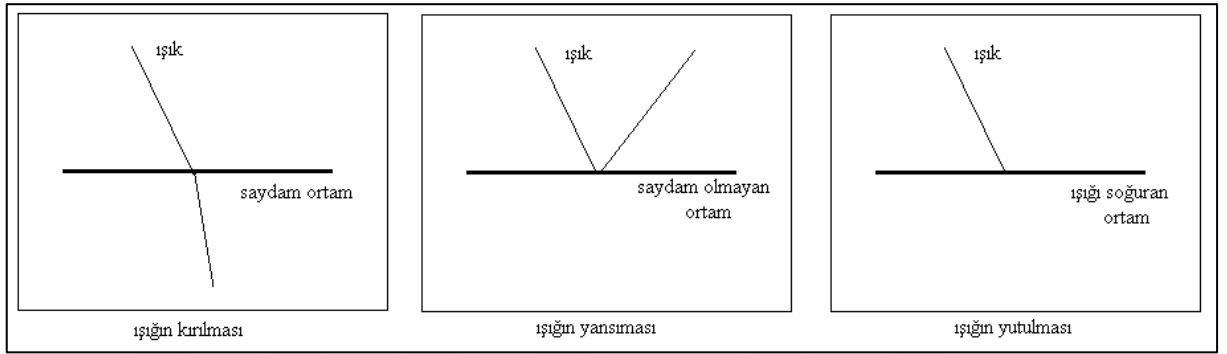
Şekil 2.8. Işığın yansıması (F.T.N., 2015)

2.3.3. Işığın yutulması

Işık çarptığı ortam yansımasına olanak vermeyen ve ilerleyeceği kadar saydam olmayan bir cisim ise ışıkta yansıma ya da kırılma olayı gerçekleşmez. Ortama çarpan ışık bu ortam içerisinde ilerleyemez ve ortam tarafından soğrulur. Ortamda herhangi bir renk yok ise bunu siyah olarak adlandırırız. Siyah ya da koyu renkler ışığı tam olarak yansıtırmazlar ve büyük kısmını yutarlar. Yutma ya da başka bir ifadeyle soğrulma işleminden sonra ise yuttukları ışığın dalga boyuna göre bu cisimlerde bir ısı artışı olur.

Yaz aylarında koyu renk kıyafetleri giymeme sebebimizde bundan ötürüdür. Çünkü yutacakları ışık miktarı kadar ısınacaklardır.

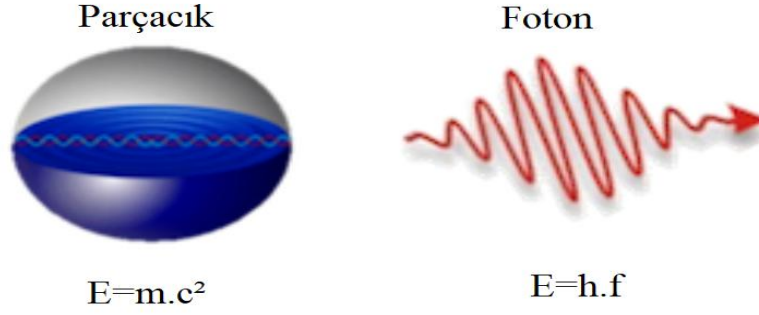
Cisimler üzerlerine düşen ışının içerisindeki büyük miktarda dalga boyu yutarlar. Yutamadıkları dalga boyundaki ışınlar ise yansımaya uğrar. Yutulmayıp yansımaya uğrayan ışıkları ise o cismin rengi olarak algılarız. Örneğin ağaç gövdeleri güneşten gelen çoğu dalga boyunu yutarken yutamadığı ve yansıttığı dalga boyları sayesinde rengini kahverengi olarak görürüz. Eğer cisimler üzerine düşen tüm dalga boylarını yansıtmadan yutabilselerdi onları bir rengi var olarak algılamayacaktık. Herhangi bir renkleri olmadığı için ışığın olmadığı haldeki karanlık gibi olacaklardı (Yacinea v.d., 2017:602), (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Işığın kırılması, yansımaları ve yutulması

2.4. Foton Yapı

Elektromanyetik dalgaların gerçekleştirdiği enerji transferinde, ışık hızında yayılan enerji parçacıkları foton olarak adlandırılır. Foton taneciklerinin, hareketsiz olmaları enerji transferi yapmaları durumunda, ağırlıkları ya da fiziksel etkileri sıfır kabul edilir. Hareketli yada hareketsiz olan fotonlar, başka bir cisim yada kuvvetin etkisi altına girdiklerinde etkilenirler. Fotonlar dalgacık olarak kabul edildiği gibi parçacık olarak da kabul edilirler. Max Planck ve sonrasında Einstein ışığın dalgacık değil parçacık olduğunu savunmuşlardır (Şekil 2.10). Buna karşılık, ışık ile ilgili oluşturulan birçok kuram ve teori ise dalgacık ve dalga boyu esaslı oluşuştur. Dalgacık teorisinde bir süreklilik söz konusu iken, parçacık teorisinde kesiklik mevcuttur. Bu konudaki araştırmalar hala sürmektedir.



Şekil 2.10. Parçacık enerjisi ve foton enerjisi (EWT, 2020)

Foton ile gerçekleştirilen çalışmalarda oluşan sorgulamaların temel sebebi, ışığın bazen dalgasal tarz, bazen de tanecik gibi hareket etmesinden kaynaklanmaktadır. Son yıllardaki bir çok görüş ise ışığın dalgacık ve tanecik olarak yayılabildiğini gösterirken, enerji transferi sağlayan ışığın yani foton enerjisinin tanecikli yayıldığı görüşü önem kazanmıştır. Bu açıklamalara göre foton enerjisi ile ilgili olarak;

- Işınimsal enerji yayılımı parçacıklar biçimindedir.
- Kuantum prensibine göre daha küçük parçacığa bölünmeyen en küçük ışık enerjisi parçacığı fotondur.
- Fotonik enerji miktarı, ışığın yayılım frekansı ile doğru, dalga boyu ile ters orantılıdır. Buradaki sabitsel değer Max Planck tarafından tanımlanmıştır ve Plank sabiti olarak adlandırılmaktadır.

3. FOTON ve FOTONİK ENERJİ

Foton yapılar, durgun haldeki ağırlığı sıfıra eşit kabul edilen, fakat kütle çekime de duyarlı olmayan yapılar olup, ışık enerjisi kapsamında ele alındığında ışık ile aynı hızda hareket etme yeteneğine sahip oldukları kabul edilmektedir. Fotonlar elektromanyetik radyasyon tarzı enerji yayılımında enerji oluşumunu sağlayan parçacıklardır. Fotonlar, enerjik yapılı ve hareketli olmaları nedeniyle ısı, ışık ve elektrik enerjisine dönüşmeye eğilimlidirler. Bu sebeple ışığın sahip olduğu enerji fotonik yayılım esaslı olarak ele alınmaktadır.

Fotonların uzay ortamı ya da atmosferde elektromanyetik dalgacıklar halinde yayıldığı açıklanmıştır. Fakat foton yapılar diğer dalgacık türleri ve fiziksel yapılar ile etkileşim içerisinde olduğunda parçacıklar halinde de hareket edebilmektedir. Fotonik enerjinin dalgacık yapısını esas alarak çalışma gerçekleştirildiğinden, dalgacık hareketinin dalga boyu ve dolayısıyla frekansın dikkate alınması gerekir.

Güneş ışığı gün içerisinde farklı dalga boylarına sahip olsa da, tüm gün için dünyamıza enerji transferine devam eder. Gece saatlerindeki güneşi görmeyen yerlerdeki enerji transferi ise en direkt özellikli olduğundan burada dikkate alınmamaktadır.

Güneşin direkt olarak dünyamızı aydınlattığı gündüz saatlerinde, özellikle 10-16 saatleri arasında fotovoltajik enerji üretimi daha yüksek düzeylerde gerçekleşmektedir. Fotovoltajik panelin elektrik enerjisi üretim yeteneğine bağlı olarak, güneş ışığının içerisinde yer alan fotonik parçacıklar elektrik enerjisine dönüştürülür.

3.1. Işık ve Hareket Hızı

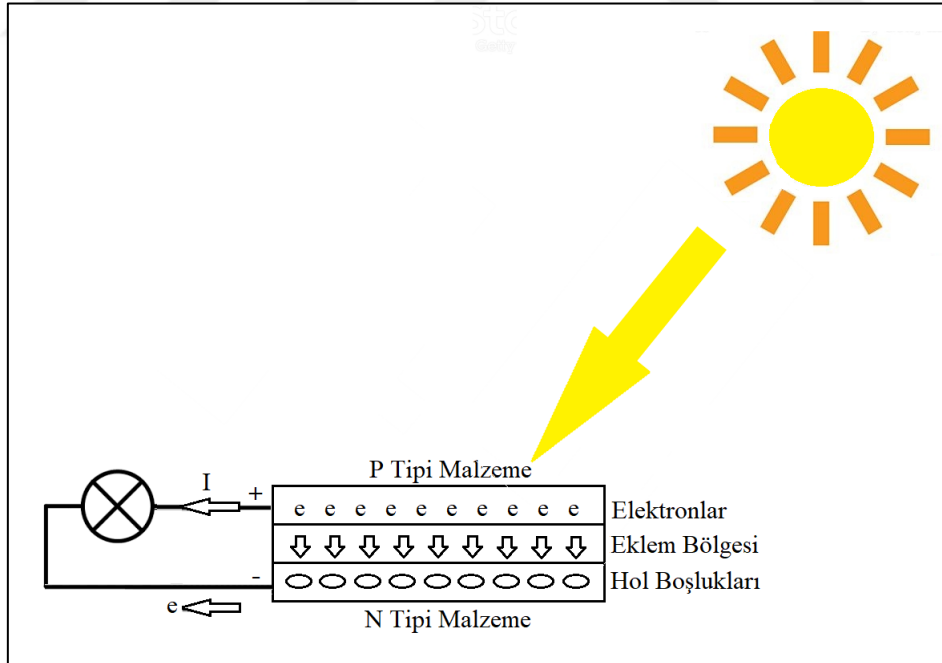
Hareket bir cisim ya da nesnenin bulunduğu konumdan başka bir konuma yer değiştirmesidir. Günümüzde pek çok nesnenin hareket hızı farklı birimlerle ölçülebilmekte ve buna göre farklı tasarımlar ve bilimsel hesaplamalar yapılabilmektedir. Söz konusu ışık olduğunda hareket hızından bahsederken hızın kabul edilebilen üst limite sahip olduğu düşünülebilir.

Tarih boyunca ışığın hızını hesaplayabilmek için pek çok çalışma ve deney yapılmıştır. Yayılma hızındaki yüksekliğinden dolayı ışık çok hızlıdır, fakat nihayetinde bu hızın da bir limiti vardır. Çünkü ışık kullanılarak yapılan işlemlerin de gerçekleşmesi için bir süre gereklidir. Geçtiği ortam ve cisimlere göre ışığın hareketi belirli bir süre sınırlarında gerçekleştiğinden ışığın da bir hızı vardır. Bu kapsamda ilk olarak Olaus

Roemer 1676 senesinde yaptığı çalışmada Jüpiterin uydusunun tutulma süresinin dünyaya yaklaştıkça arttığını açıklayarak ışığın kat ettiği mesafesinin ve bu mesafeyi aşmak için gereken sürenin değiştiğini göstermektedir.

3.2. Foton ve Fotonik Enerji

Fotovoltaik enerji üretiminde, panel yapısını oluşturan hücelere ait yarı iletken katmanlarının maruz kaldığı ışınım şiddeti ve ışınımın dalga boyu önem kazanır. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi, yarı iletken yapının maruz kaldığı fotonik enerji, iç ortamda P tipi katmandan N tipi katmana elektron aktarımına sebep olur. İç ortamdaki N tipi katmana yönelik bu elektron aktarımı, dış devre üzerinden P tipi katmana doğru devam eder. Elektron kaybeden atomların enerji seviyelerindeki artışa bağlı olarak, elektron akış yönünün tersi olarak elektrik akım geçişi meydana gelir. Elektron akışını zorlaştırmaya yönelik ortamlar, elektrik yükü olarak adlandırılır ve bu ortamların üzerinde elektriksel enerji sarfi gerçekleşir. Enerji sarfının olduğu asıl ortam dış devrede olmakla birlikte, fotovoltaik yapı içerisinde de iç direncinden dolayı bir miktar enerji sarfi gerçekleşir (Sudhakar v.d. 2013:37).



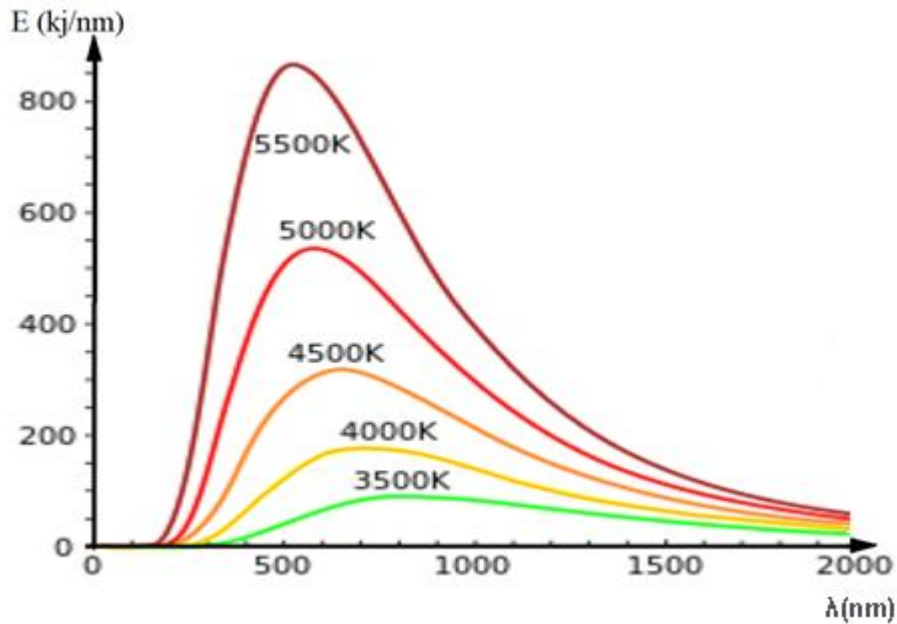
Şekil 3.1. Fotovoltaik yapı

Fotovoltaik enerji üretiminde fotonlar hollerle ve elektronlarla etkileşime geçtikten sonra enerjilerinin bir kısmını ya da tamamını P-N eklemi arasındaki yasak bölgeye aktararak, P ve N arasında dış ortamda elektron akışını sağlayabilecek bir

potansiyel farkı oluşmasını sağlarlar. Bu etkileşim sonucu fotonik hareketin dalga boyu artarak enerjisi azalır ve azalan miktar fotovoltaik hücre ile elektrik enerjisine dönüştürülmüş olur. Bu bakımdan dalgacık ve parçacık özellikleri olan fotonların enerji seviyelerini tespit etmek için hareket ve etkileşim durumuna göre dalga boyu ve frekansları önemlidir (Ali S. M., 2013: 27).

3.3. Kara Cisim ve Planck Sabiti

Bohr, Schrödinger, De Broglie, Heisenberg, Born, Einstein ve Dirac gibi bilim adamları tarafından tarihsel süreçten geliştirilen teoriler üzerine, Max Planck tarafından 20.yüzyılın başlarında ortaya atılan Kuantum Kuramı ve Işınım Esasları, ışınımın dalgacıklı modelini esas alarak frekans ve enerji ilişkisini açıklar. Max Planck bu kuram ve esaslar dahilinde; hangi sıcaklıkta olursa olsun, bütün cisimlerin bir enerji yayılımı gerçekleştirdiğini ve bu yayılıma maruz kalarak enerji absorbe eden cisimlerin de enerji yayılımı gerçekleştirdiğini kesikli spektrum yapıları ile açıklar. Max Planck'ın açıklamalarında kullandığı "Kara Cisim" ise her dalga boyundaki ışınım türlerini absorbe etmesine rağmen, enerji yayılımı gerçekleşmemesi durumunu açıklamaktadır. Bir cismin "Kara Cisim" olarak kabul edilebilmesi için o cismin enerji yayılımı gerçekleştirmeksizin sadece enerji absorbe etmesi gerekir.



Şekil 3.2. Enerji dalga boyu ilişkisi

Diğer bir açıklama ile Kara cisim olarak adlandırılan bir ortam, dış çevresine ışınım yaymadığından fark edilememektedir. Kara cisme enerji yüklemesi yapıldığında ise, yüklenen enerji miktarına bağlı olarak kara cisim özelliği kaybolmakta ve enerji yayılımı başlamaktadır. Cisimden yayılan ışınımın dalga boyu ise diğer ışınım türlerinde olduğu gibi farklılıklar gösterdiğinden farklı adlandırılmaktadır. Yayılım yapan bu enerji 380 nm ile 700 nm arasında görünür dalga boylarında olduğunda ise dalga boyuna bağlı olarak farklı renk özellikleri göstermektedir (Şekil 3.2).

"m" kütleli bir taneciğin "c" ışık hızında kazandığı momentum "P",

$$P = m \cdot c \quad (1)$$

Bu tanecik yapının enerji boyutu "E",

$$E = mc^2 \quad (2)$$

Planck sabiti ışınım içerisindeki parçacığın frekansına oranla sahip olduğu enerjiyi tanımlar. Max Planck tarafından tanımlanan " $h=6.62607015 \times 10^{-34}$ J.s" katsayısı "f" frekansı ile ilişkilendirilen fotonik yapıdan kaynaklı enerji,

$$E = h \cdot f \quad (3)$$

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (4)$$

olarak eşitlik (4) deki gibi ifade edilmektedir. Şekil 3.2'de görüldüğü gibi, ışınımsal dalga boyu azaldıkça veya ışınımsal frekans arttıkça enerji boyutunda fonksiyonel bir artış gerçekleşmektedir. Bu artış miktarı farklı renk sıcaklığına sahip ışık kaynakları için de farklı olmaktadır. Düşük Kelvin sıcaklığına sahip ışık kaynakları için dalga boyundaki azalmaya bağlı enerji artışı sınırlı kalırken, Yüksek Kelvin sıcaklıklarına sahip ışık kaynaklarında artış daha belirgin olmaktadır. Bu artışın fonksiyonelliği, ışın kaynağının foton yayılımına bağlı olarak değişmektedir. Fotonda bir tanecik olduğu için,

$$m \cdot c^2 = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (5)$$

ise fotonik yapı esaslı momentum,

$$P = \frac{h}{\lambda} \quad (6)$$

olarak eşitlik (6)'daki gibi tanımlanır. Sanılanın aksine güneşi direkt görmeden kaynaklanan sıcak renk esaslı aydınlatmada ışınımın dalga boyu esaslı enerjisi düşük

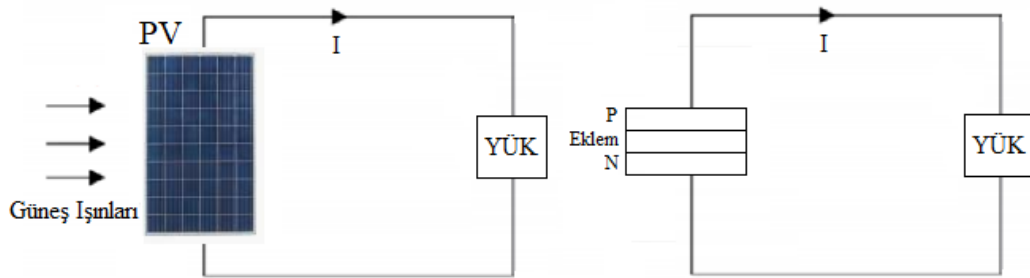
iken, güneşi endirekt görmeden kaynaklanan soğuk renk esaslı aydınlatmada ışınının dalga boyu esaslı enerjisi daha yüksek olmaktadır. Bu durum ise, yeryüzünün güneş enerjisinden kaynaklı aşırı ısınmasının önüne geçtiği gibi, güneşin direkt görülmediği zaman dilimlerinde, ışınının enerji boyutunun artmasıyla dünya iklimi için bir regülatör işlevi sağlamaktadır.

Yukarıdaki açıklamalardan da anlaşılacağı üzere planck sabitine göre bir fotonun enerjisi arttığı zaman dalgalanma frekansında da artış gerçekleşir. Enerji seviyelerine göre sıralama yapıldığında ise Gamma-ray, x-ray, mor ötesi, görünür ışık, kızılötesi, mikrodalga, radyo dalgaları biçiminde frekanslarına göre en yüksek enerjili ışınımın en düşük enerjili ışınımına göre sıralama gerçekleşir. Görünür ışık için ise mor, koyu mavi, açık mavi, yeşil, sarı, turuncu, kırmızı şeklinde frekanslarına göre en yüksek enerjili ışınımın en düşük enerjili ışınımına göre sıralama yapılmış olur.

3.4. Fotovoltaik Hücreler

Yarı iletken yapılar kullanılarak fotovoltaik enerji üretimi çok daha öncesinden bilinen bir fiziksel olay olmasına rağmen, fotovoltaik hücre ve bu hücrelerden meydana gelen fotovoltaik panellerin ticari boyut kazanması 21. yüzyılı bulmuştur. Fotovoltaik bir panelde, gelen ışınımın içerisindeki fotonların bir kısmı fotonik hücreler tarafından absorbe edilirken, bir kısmı yansıtılır. Absorbe edilen fotonik enerji ise elektrik enerjisi ve ısı enerjisi olarak iki kapsamda dönüşüme uğrar.

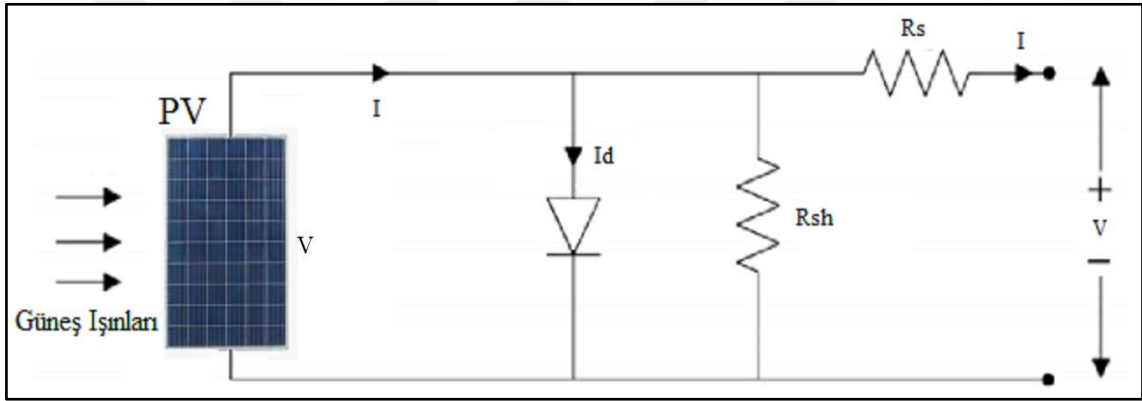
Fotovoltaik elektrik enerjisi dönüşümü ise şekil 3.3de görüldüğü gibi P ve N maddeleri arasındaki eklem bölgesi üzerinden sağlanır. Eklem bölgesine düşen ışık ve foton tanecikleri, burada hol ve elektron oluşumuna yol açar. P tipi tabakadan elektronu üzerine çeker. Benzer biçimde eklem bölgesindeki elektron oluşumu N bölgesine elektron gönderimi sağlar. Çünkü eklem bölgesinde, fotonik dalgacık maruziyeti nedeniyle, P'ye ve N'e göre ΔV farklı bir elektriksel potansiyel oluşur.



Şekil 3.3. Fotovoltaik panel ve yarıiletken yapı

Fotovoltaik dönüşümde gerçekleşen olay aslında P ve N hücreleri arasındaki eklem bölgesinin, çıkış voltajını arttırarak ilave bir voltaj kaynağına dönüşmesidir. Böylece elde edilen çıkış voltajı dış devreye yeterli akım verecek seviyeye gelmektedir.

Fotovoltaik hücrede elde edilen çıkış voltajının ve dış devreye transfer edilen elektriksel akımın tanımlandığı eşdeğer devre ise Şekil 3.4'de görülmektedir. Eşdeğer devrede diyot eşik çıkış akımını, seri ve paralel dirençler ise hücre yapılarında oluşan iç dirençleri ifade etmektedir. Fotovoltaik olarak elde edilen akım I_d akımının üzerine çıkınca ($I > I_d$) dış devreye akım alınabilmektedir. R_s ve R_{sh} dirençleri üzerindeki kayıplar fotovoltaik enerji üretimindeki iç direnç kayıplarını oluşturmaktadır. Fotovoltaik panel sıcaklığındaki artış R_s ve R_{sh} dirençlerin de artışına yol açtığından, iç direnç kayıpları azalsa bile devrenin toplam direnci arttığından dış devreye geçen akımı ve dolayısıyla enerji transferini azaltmaktadır.



Şekil 3.4. Fotovoltaik eşdeğer devre

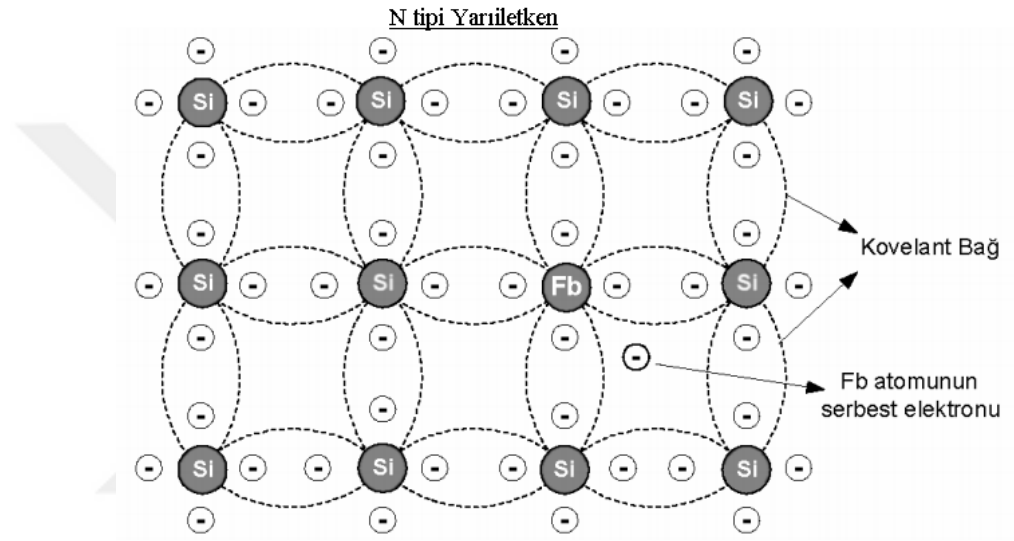
3.4.1. P tipi ve N tipi yarıiletken maddeler

N tipi ve P tipi maddelerden bahsetmeden önce yarıiletken kavramını açıklamakta fayda vardır. Dirençleri iletkenlerden yüksek ve yalıtkanlardan da düşük olan malzemelere yarı iletken malzemeler denir. Yarıiletkenlerin valans bandında 4 elektron bulunmaktadır. Elektronik malzemelerin yapımında yoğun olarak kullanılırlar.

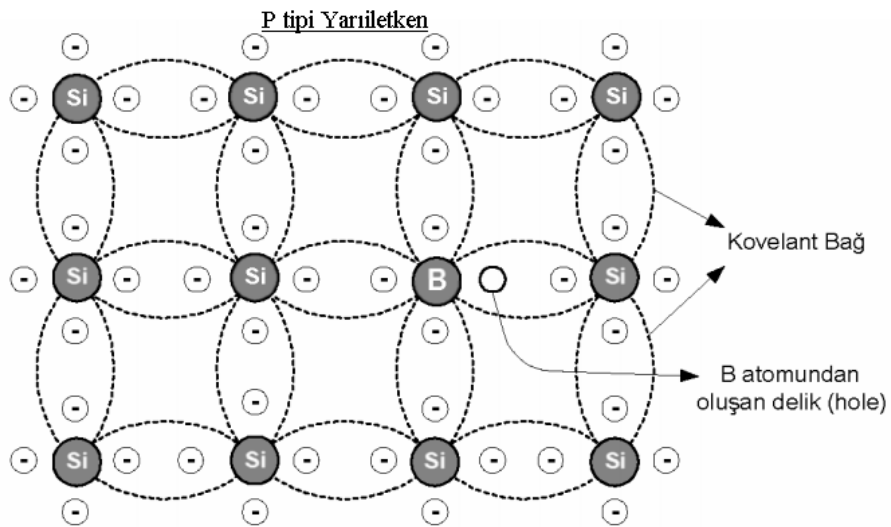
N tipi maddeler elektron bakımından zengin yani negatif olması gerekir. Silisyum veya germanyum içerisine belli oranda arsenik, fosfor vb. gibi son yörüngesinde 5 elektron bulunan maddeler karıştırılarak üretilirler. Son yörüngesinde 4 elektron bulunan silisyum ve germanyum ile 5 elektronlu maddenin 4'er elektronları

kovalent bağ kurduğunda 1 elektron boşa kalarak madde elektron bakımından zenginleşmiş olur.

P tipi maddeler de elektron bakımından fakir yani pozitif olması gerekir. Silisyum veya germanyum içerisine belli oranda indium, bor vb. gibi son yörüngesinde 3 elektron bulunan maddeler karıştırılarak üretilirler. Karışım sonrasında silisyum veya germanyum maddenin bir elektronu boşa kalır ve eşleşmeye çalıştığı elektron yerlerinde oyuklar oluşur. Böylece malzeme elektron bakımından fakirleşir (H.Ü. 2006:52-58).



Şekil 3.5. N tipi yarıiletkenin oluşturulması (Y.K. 2013:16)



Şekil 3.6. P tipi yarıiletkenin oluşturulması (Y.K. 2013:17)

4. GÜNEŞ IŞINIMININ RENKSEL DEĞİŞİMİ VE FOTOVOLTAİK ENERJİ

Atmosfer dışına çıkarak uzaydan çekilen güneş fotoğraflarında, güneşin rengi beyaz olarak görünür. Güneş aslında bizim dünyadan gördüğümüzün aksine beyaz renkli ışık yayar. Yani tüm renkleri içeren bir ışık kaynağı olup ışığında mavi, sarı, mor, turuncu, yeşil vb. gibi bütün renkler vardır. Güneş ışınları çok uzun bir sürede milyonlarca kilometre yol kat ettikten sonra ancak dünyamıza ulaşabilirler. Tabii ki bu kadar yol kat ettikten sonra pek çok farklı olayla karşılaşır. En çok etkileşim yaşadıkları ortam ise atmosferden geçtiği aşamadır. Dünyamıza farklı zaman dilimlerinde girdiği açıya bağlı olarak, atmosferde karşılaştıkları moleküller ve parçacıklarıyla etkileşim sonrası yaşadıkları kırılmalar, emilmeler, yansımalar ve benzeri gibi pek çok olaydan sonra farklı renklerde görünürler. Örneğin güneşi sabahları sarı olarak öğle vaktinde bazen beyaz bazen de sarı olarak görürken, akşama doğru turuncu ve hatta bazen kırmızı olarak görebiliriz (Obay 2019:5, Onaygil 2010:11).

Renkleri kırmızı turuncu sarı yeşil mavi mor şeklinde sıralayacak olursak bu renkler en büyük dalga boyundan en küçük dalga boyuna yani en düşük enerjili renklerden en yüksek enerjili renklere doğru sıralanmış oluruz. Yani yaptığımız bu renk sıralamasına göre üreteceğimiz enerji miktarı da giderek artacaktır. Atmosferdeki emilim olaylarında en çok mavi tondaki renkler etkilenirler. Bu yüzden biz genellikle güneşi sarı turuncu ve kırmızı renklerde ya da bu tonlara yakın renklerde görürüz.

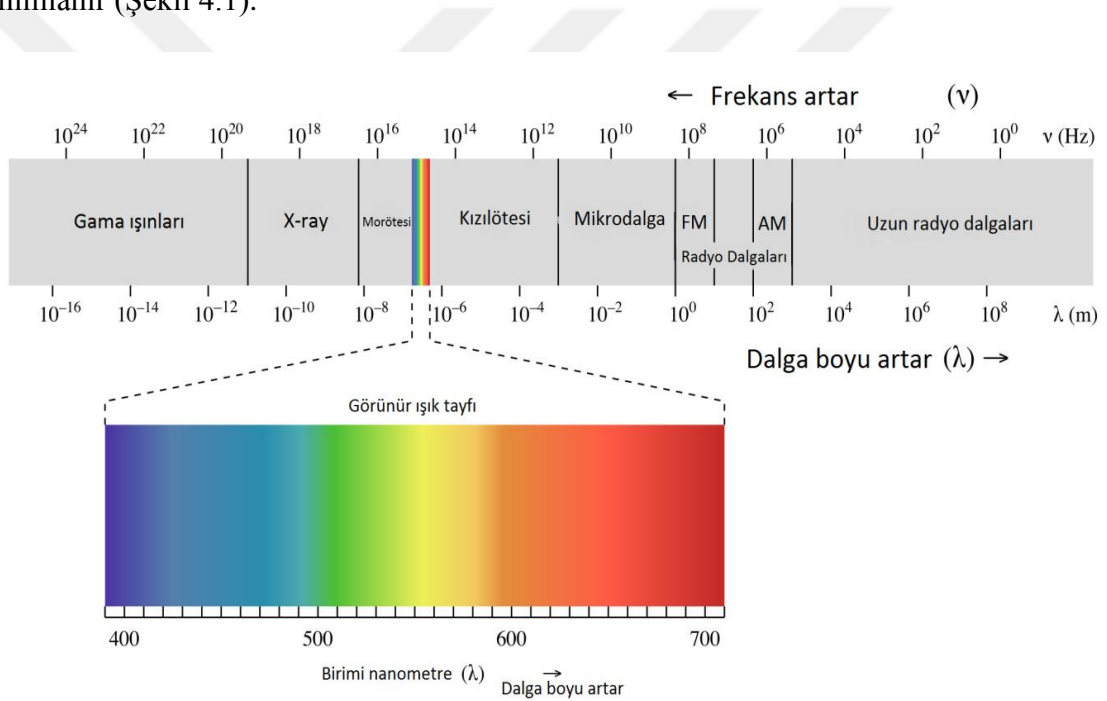
" $E = h \cdot f$ " eşitliğine göre dalgacık yayılımında dalganın boyu arttıkça enerjisinin azalmakta ya da tam tersi enerjisinin yüksek olduğu dönemlerde dalga boyu azalmaktadır. Sanılanın aksine kırmızı ışık en büyük dalga boyuna sahip olup, güneşin kırmızı ve turuncu renklerini aldığı akşam vakitlerinde üretebileceği enerji miktarı da minimum seviyelere inmektedir. Mavi tonlardaki ışıklar ise en küçük dalga boyuna sahip olmaları nedeniyle yani en yüksek enerjiye sahip renklerdir. Normal şartlarda, soğuk beyaz ve mavi tona yakın bulut arkası güneş ışınımalarında en yüksek fotovoltaik enerji seviyelerine ulaşılması gerekir. Fakat bu durumda fotovoltaik olarak maruz kalınan ışık akısı yetersiz kaldığından elde edilen elektrik enerjisi yetersiz kalmaktadır.

Güneşin sarı renginde olduğu ya da günışığı beyaz renkte olduğu öğle vakitlerinde ise üretilen elektrik enerjisi miktarı en üst düzeylerine ulaşmaktadır. Burada dalga boyu kaynaklı bir dezavantaj oluşmasına rağmen, maruz kalınan ışık akısı

fazlasıyla arttığından elde edilen elektrik enerjisi de artmaktadır (Mangkuto v.d. 2017:7, İmal v.d. 2015:9).

4.1. Güneş Işığının Dalga Boyu ve Renksel Değişimleri

Güneş ışığı çok küçük dalga boylarından çok büyük dalga boylarına kadar geniş bir spektruma sahip ışık demetini içerir. Aynı görünür ışıkta olduğu gibi davranış sergileyerek doğrusal olarak ilerler. Güneş ışınımı içerisinde gama ray, x-ray, mor ötesi, görünür ışık, kızılötesi mikrodalga, radyo dalgalarından oluşan çok geniş bir demettir. Bu elektromanyetik dalgalar farklı dalga boyu ve frekanslara sahiptir. 380 nm ve 680nm aralığındaki gözle algılanabilen kısmı görünür ışık olarak adlandırılır. 300nm dalga boyuna sahip bu aralıktaki ışığın algılamasındaki farklar ise kendi içinde renkler olarak tanımlanır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Farklı dalga boylarında algılanan renk sıcaklıkları

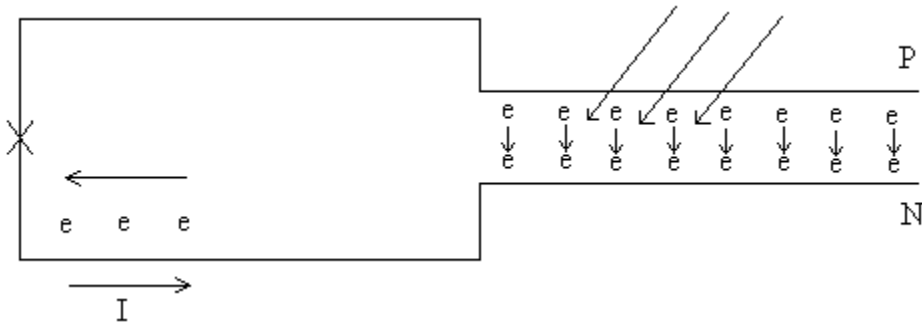
Bahsedilen 380nm ile 680nm arasındaki 300nm aralık dışında kalan dalga boylarını ise insan gözüyle algılamak mümkün değildir. Güneşten dünyamıza sadece beyaz renkli bir ışık gelmediği gibi, görülebilir sınırların dışında da ışın türleri gelmektedir. Gözle görünen kısımdaki farklı renklerdeki ışınımdaki enerji seviyesindeki farklılık daha düşük ve yüksek dalga boyları içinde geçerlidir. Mor ötesi ve daha kısa dalga boylarında enerji artarken, kızılötesi ve daha uzun dalga boylarındada ışınımın enerjisi düşmektedir (Narendran v.d. 2013:6).

Güneş ışınımındaki görünür ışığın renklere göre yapısı günlük hayattada fark edilir. Tamamen saf ve şeffaf olmayan atmosferimiz ışının ilerlerken kırılmalara uğramasına neden olur. Yine dünyamızın yapısından ve hareketlerinden dolayı ışının gelişi açısı sürekli olarak değişmektedir. Aslında saydam olan dünya atmosferinin mavi renkte görünmesi, sabah ve akşam saatlerinde ise turuncu ve kırmızı gibi farklı renklerde görünmesinin sebebi budur. Atmosferimiz içerisinde bulunan gazlar ve su buharlarıyla karşılaşan güneş ışınlarının bir kısmı geri yansır, bir kısmı soğrulur, bir kısmı ise kırılmalara uğrayarak yollarına devam ederler.

Ses, radyo dalgaları, manyetik dalgalar, ışık vb. gibi fiziksel etkiler aslında farklı dalga boylarına sahip enerji yayılımlarının farklı fiziksel tanımlamalarıdır. 380 ile 700 nm arasındaki kısmı görülebilir ışık olarak tanımlanan bu enerji yayılımlarının bazı türleri farklı uygulamalarda karşımıza çıkabilmektedir (Kazem v.d. 2016:11).

4.2. Fotovoltaik Enerji Üretimi

Güneş ışınımının elektrik enerjisine dönüşümünü sağlayan yarı iletken katmanlar fotovoltaik hücreler olarak adlandırılır. Birçok fotovoltaik hücreden oluşan panel yapılar ise fotovoltaik panel olarak adlandırılır.



Şekil 4.2. Elektron akışı ve elektriksel akım

Fotovoltaik hücrede, elektriksel EMK oluşumu için P ve N eklemi arasına ışınım nüfus etmesi gerekir (Şekil 4.2). P ve N arasına nüfus eden ışınım, zaten elektron olarak fakir olan P maddesinde, elektron olarak zengin N maddesine hücre içi elektron transferi gerçekleşmesi sağlar. Bu durumda P ve N maddeleri arasındaki denge bandı bozulduğundan, tabakalar arası EMK elde edilmiş olur.



Şekil 4.3. Uygulamada kullanılan fotovoltaik panel

Dış devreden P ve N tabakaları arasında bağlanan yük, dış devresindeki yük ve iletkenler üzerinden N'den P'ye elektron akışı sağlandığında, P'den N'ye doğru elektriksel akış gerçekleşmiş olur. Burada enerji üretiminin gerçekleşmesi, hücre içinde P'den N'ye doğru koparılan elektronlar ile sağlanmaktadır.

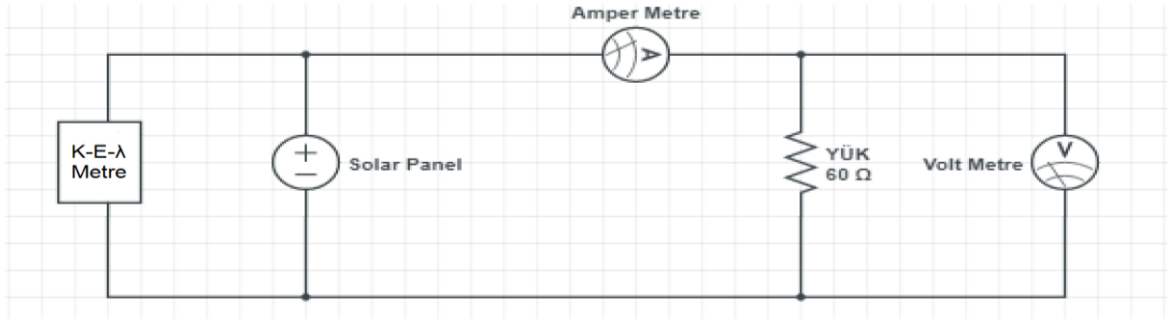


Şekil 4.4. Uygulamada kullanılan ekipmanlar

4.3. Uygulama Yöntemi

Gerçekleştirilen çalışmada Şekil 4.3'de etiketi verilen bir adet 5 W'lık polikristal bir güneş paneli, bir adet spektrokolorimetre, bir adet güç analizörü ve bir adet elektriksel yük (rezistans) kullanılmıştır. Çalışmada veri bazlı güç üretimi gerektiğinden, 5 W'lık panel yeterli görülmüştür. Şekil 4.4'de sensörü görülen spektrokolorimetre ile test edilen ışınımlardan elde edilen; aydınlatma düzeyi, renk sıcaklığı (K) ve dalga boyu " λ " gibi veriler elde edilebilmektedir. Güç analizörü,

fotovoltaik panelden elde edilen elektrik enerjisinin voltajını ve akımını ölçme yeteneğine sahiptir.



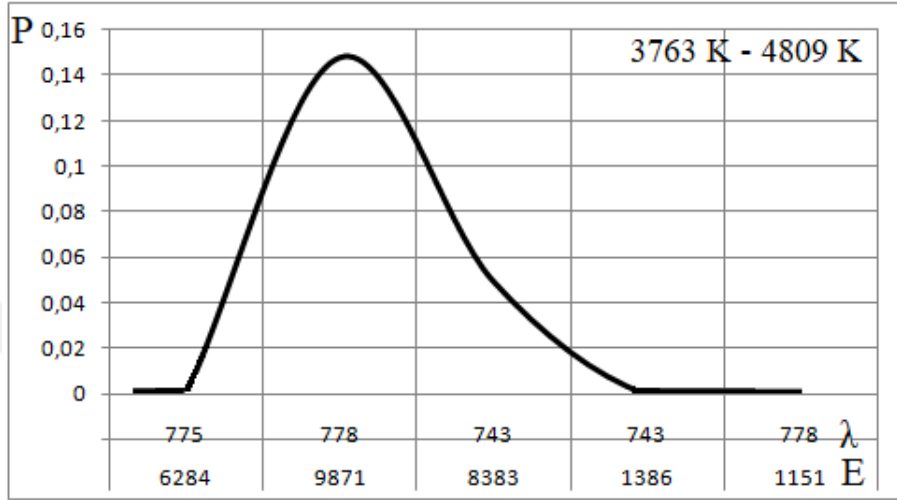
Şekil 4.5. Uygulama devresi

Şekil 4.4'deki gibi gerçekleştirilen deneysel kurulum ile Çizelge 4.1'deki deneysel veriler elde edilmiş olup, bu veriler ile ışık enerjisinden elde edilen aydınlatma düzeyi (E), renk sıcaklığı (K), dalga boyu " λ ", elektriksel voltaj (V), akım (A), ve güç (P) verilerinin elektrik enerjisi üretimindeki etkileri ele alınmıştır.

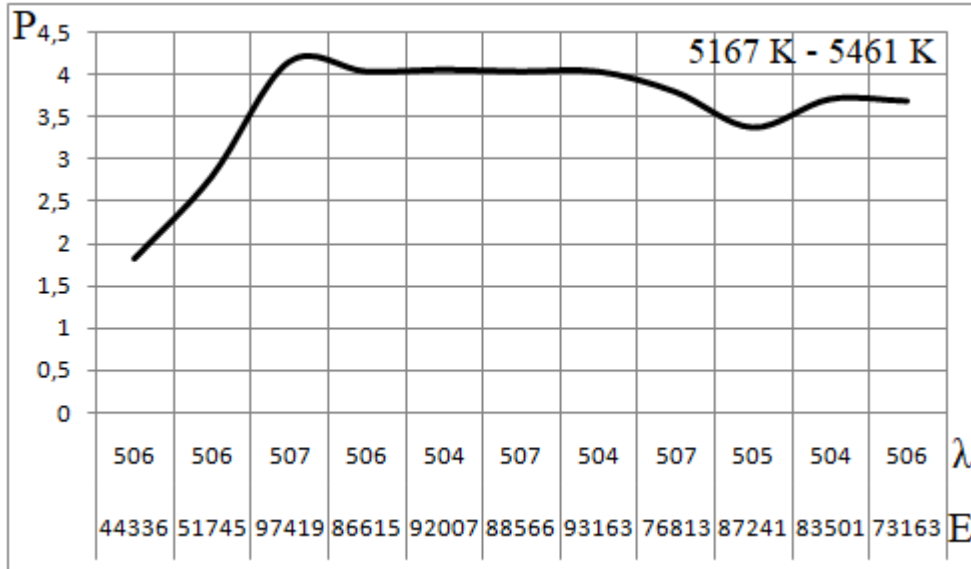
Çizelge 4.1. Uygulama verileri

h	K	E	λ	U	I	P
15:26:00	5323	86615	506	17,6	0,23	4,048
15:26:30	5345	88566	507	17,6	0,23	4,048
15:27:00	5448	83501	504	16,9	0,22	3,718
15:28:00	5420	87241	505	16,1	0,21	3,381
15:28:50	5350	93163	504	17,6	0,23	4,048
15:29:00	7398	8657	454	4,7	0,06	0,282
15:29:30	7342	9232	454	2,6	0,03	0,078
15:30:00	3797	9871	778	3,7	0,04	0,148
15:30:50	3799	8383	743	2,5	0,02	0,05
15:31:00	3763	6284	775	0,4	0	0
15:31:30	4783	1386	743	0,4	0	0
15:32:00	4809	1151	778	0,2	0	0
15:32:30	5331	92007	504	17,7	0,23	4,071
15:33:00	5294	51745	506	14,7	0,19	2,793
15:33:30	8802	10115	454	2,5	0,03	0,075
15:34:00	7372	8415	454	4,2	0,05	0,21
15:34:30	5383	76813	507	17,3	0,22	3,806
15:34:50	6943	8864	457	2,5	0,03	0,075
15:35:00	5461	73163	506	16,8	0,22	3,696
15:35:30	5167	44336	506	12,1	0,15	1,815
15:36:00	5322	97419	507	18,1	0,23	4,163

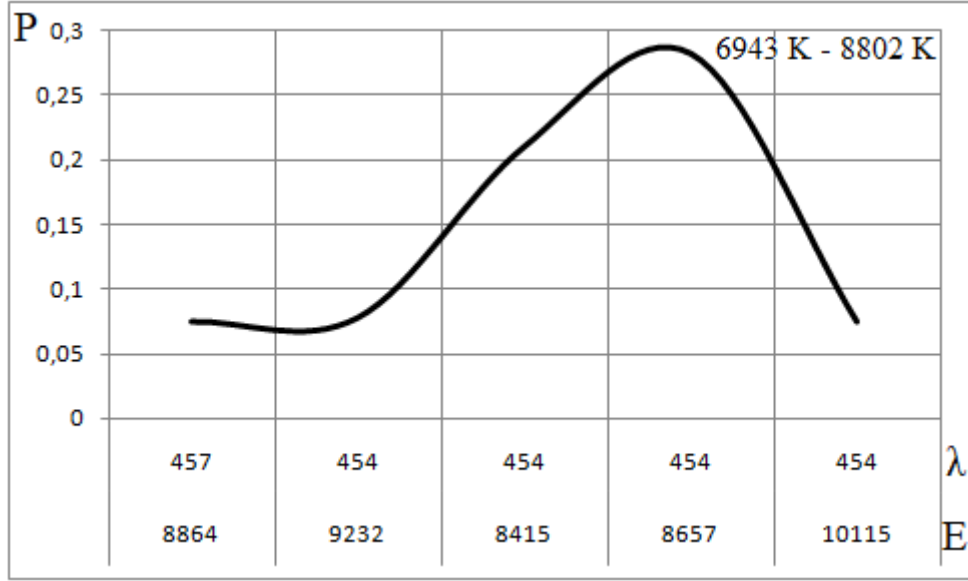
Çizelge 4.1'deki üç farklı renk sıcaklığı (sıcak renk- gün ışığı ve soğuk renk) için veriler ele alındığında Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8 'de sırası ile sıcak renk aralıklarında, günışığı renk aralıklarında ve soğuk renk aralıklarında elde edilen fotovoltaik elektriksel güç değişimleri görülmektedir. Bu şekillerden de anlaşılacağı üzere fotovoltaik elektriksel güç üretiminin en fazla olduğu renk sıcaklığı aralığı günışığı renk tonu seviyelerinde gerçekleşmektedir.



Şekil 4.6. Sıcak renk aralıklarında elde edilen fotovoltaik elektriksel güç



Şekil 4.7. Günışığı renk aralıklarında elde edilen fotovoltaik elektriksel güç



Şekil 4.8. Soğuk renk aralıklarında elde edilen fotovoltaik elektriksel güç

4.4. Güneş Işınımının Farklı Dalga Boylarında Fotovoltaik Enerji Üretim Analizleri

Birden fazla değişken arasındaki bağıntıları tanımlamak için kullanılan yöntemlerden birisi de "Regresyon Analizi" olup; sadeliği, anlaşılabilirliği çalışmaya uygunluğu bakımlarından tercih edilmiştir. Çalışmada elde edilen verilerden "Regresyon Analizi" kullanılarak fonksiyonel eşitlikler elde edilmiş ve elde edilen bu eşitlikler kullanılarak olası yeni durumlar için tahminler gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen tahminler dalga boylarına göre sıcak renk, gün ışığı ve soğuk renk tonları için gerçekleştirilmiştir.

Fotovoltaik enerji üretiminde renk sıcaklığı ve dolayısıyla dalga boyunun fotovoltaik enerji üretiminde etkileri uygulamalı analiz ile incelenmiştir. Burada, elde edilen fotovoltaik elektriksel gücün, günışığı dalga boyuna maruz kalınması durumunda (en yüksek aydınlatma seviyesine maruz kalınması nedeniyle) en üst seviyelere çıktığı görülmektedir. Çizelge 4.1 verileri kullanılarak, farklı renk sıcaklıkları için fotovoltaik enerji üretim eşitlikleri regresyon analizleri kullanılarak elde edilebilir. Çizelge 4.1, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8 deki veri ve değişimler kullanılarak, parametrik yöntemlerle Çizelge 4.2'deki regresyon eşitlikleri elde edilmiştir. Burada "X" olarak belirtilen ifade " E/λ " yı, "y" ise elde edilen "P" elektriksel güç değerini ifade etmektedir.

Çizelge 4.2. Regresyon analiz eşitlikleri

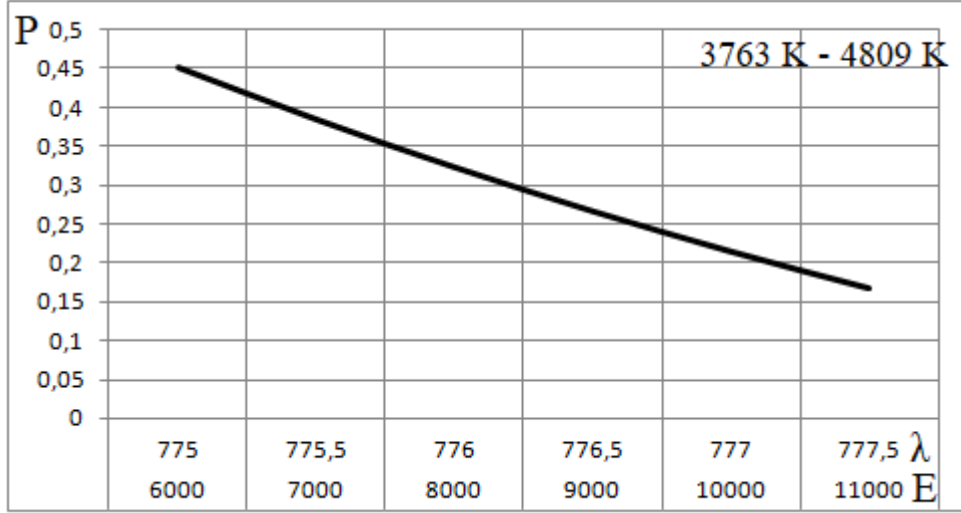
Sıcak Renk Tonu	$y = -0,012x^4 + 0,170x^3 - 0,842x^2 + 1,664x - 0,98$
Güneşli Renk Tonu	$y = 0,000x^6 - 0,003x^5 + 0,050x^4 - 0,322x^3 + 0,773x^2 + 0,503x + 0,772$
Soğuk Renk Tonu	$y = -0,034x^3 + 0,271x^2 - 0,576x + 0,414$

Çizelge 4.3. Farklı aydınlık düzeyleri ve dalga boyları için fotovoltaik enerji tahminleri

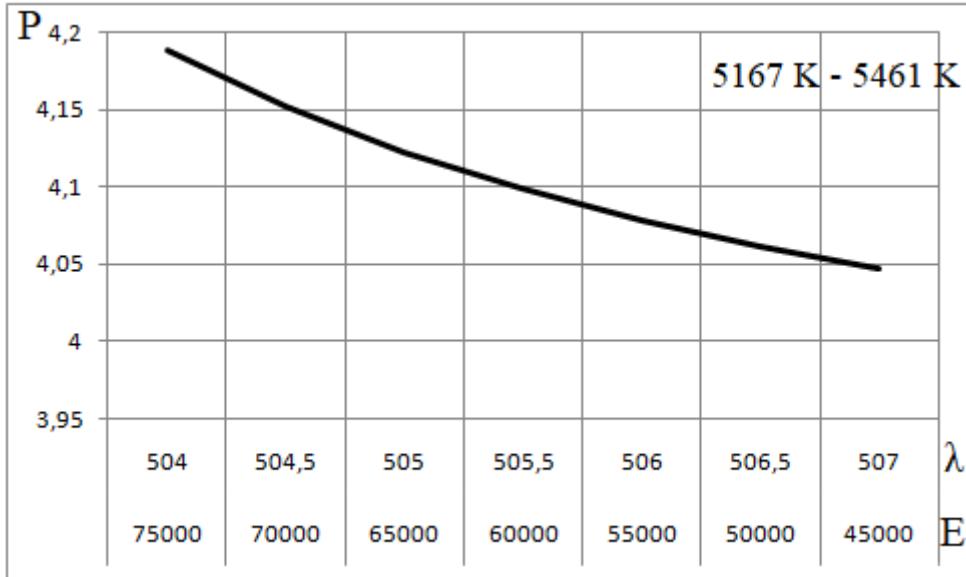
E (Lüks)	λ (nm)	P (W)
8750	457	0,19
9000	456,5	0,20
9250	456	0,21
9500	455,5	0,22
9750	455	0,23
10000	454,5	0,24
10250	454	0,10
75000	504	4,19
70000	504,5	4,15
65000	505	4,12
60000	505,5	4,10
55000	506	4,08
50000	506,5	4,06
45000	507	4,05
6000	775	0,45
7000	775,5	0,39
8000	776	0,32
9000	776,5	0,27
10000	777	0,2
11000	777,5	0,17

Çizelge 4.2'deki regresyon eşitlikleri kullanılarak yapılan tahminlerin sonucu Çizelge 4.3'de, Şekil 4.9'da sıcak renk aralıklarında fotovoltaik elektriksel güç değişimi, Şekil 4.10'da güneşli renk aralıklarında fotovoltaik elektriksel güç değişimi, Şekil 4.11'de ise soğuk renk aralıklarında fotovoltaik elektriksel güç değişimi grafikleri görülmektedir. Bu değişim grafiklerinden de anlaşılacağı üzere sıcak ve soğuk renk dalga boyu aralıklarındaki elde edilen elektriksel güç değerleri son derece sınırlı kalırken, güneşli renk aralığında elde edilen elektriksel güç değerleri çok daha yüksek

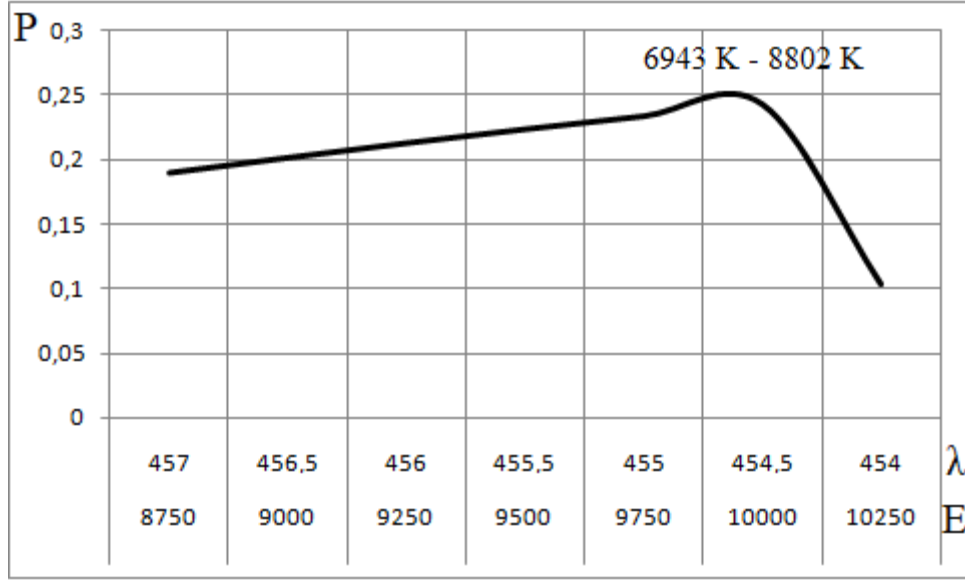
değerlere ulaşmıştır. Şekil 4.7'deki güneş ışığı dalga boyundaki dalga boyu ve aydınlık düzeye bağlı güç değişim oranlarındaki değişim ise, dalga boyu ve ışık şiddetine % 100 bir bağımlılığı olmayan fotonik enerjinin yayılımından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.9. Sıcak renk aralıklarında fotovoltaik elektriksel güç tahmini



Şekil 4.10. Güneş ışığı renk aralıklarında fotovoltaik elektriksel güç tahmini



Şekil 4.11. Soğuk renk aralıklarında fotovoltajik elektriksel güç tahmini

Burada gerçekleştirilen çalışmada dalga boylarına göre sınıflandırılan ışık enerjisi için elde edilebilecek ışık-elektrik dönüşümü miktarı Çizelge 4.2 'deki eşitlikler ile tanımlanmıştır. Fotovoltajik enerjiyi belirleyen asıl etkinin ışığın fotonik etkisi olduğuna önceden değinilmiştir. Fotovoltajik enerji miktarının daha fazla olduğu maviye yakın tonlu dalga boylarında, dalga boyundan kaynaklı ışınımsal enerji oranı fazla da olsa, güneş enerjisinden yararlanma oranı daha az kalmaktadır. Bu sebeple her ne kadar fotovoltajik enerji oranı yüksek de olsa toplam ışık akışına maruz kalma oranı %5-10 arasında olduğundan bu dalga boylarında elde edilen fotovoltajik enerji miktarı sınırlı kalmaktadır.

Maruz kalınan ışıksal etkiyi, aydınlatma düzeyi E (Lüks) cinsinden ele aldığımızda, maviye yakın renk tonlarında 5-15 bin cd ışık şiddetinde bir maruziyeti 380-430 nm dalga boylarına karşılık olarak elde edebilmekteyiz. Bu durumda fotovoltajik enerji elde etme oranı yüksek de olsa toplam maruz kalınan ışık akışı yetersiz olduğundan, elde edilen fotovoltajik elektrik enerjisi de yetersiz olmaktadır.

Daha yüksek daha dalga boylarına maruz kalınması durumunda ise, maruz kalınan ışıksal etki aydınlatma düzeyi E (Lüks) deki yetersizliğin de etkisiyle elde edilen fotovoltajik enerji daha da düşük kalmaktadır.

Güneş ışığının yoğun olarak alındığı 10 ila 16 saatleri arasında, güneşin direkt görüldüğü günışığına renk tonuna direkt maruz kalma durumunda ise fotovoltaik paneller 100.000 Lüks'e yakın aydınlatma düzeyine maruz kalabilmektedir. Bu durumda fotovoltaik enerji elde etme oranında bir düşüş olsa bile aydınlatma düzeyinde gerçekleşen fazlasıyla artış nedeniyle elde edilen elektriksel güç en yüksek değerlerine ulaşmaktadır. Bu açıklamalar ve güneş ışınımı için $P=f(\lambda \& E)$ değişim grafikleri incelendiğinde en yüksek güç değerinin genellikle 5000-6000 K değerlerinde sağlandığı görülmektedir.



5. SONUÇ

Fotovoltaik elektrik enerjisi üretiminde, ışınımsal parametrelerin etkilerini inceleme adına gerçekleştirilen bu çalışmada, ışınım büyüklüğünün yanı sıra renksel özellikler de dikkate alınarak fotovoltaik elektrik enerjisi elde etmedeki etkiler incelenmiştir. Çalışmada kullanılan ışık kaynağı güneş olarak ele alındığından, güneş enerjisi için fotovoltaik enerji üretim etkinlikleri değerlendirilmiştir. Çalışma fotovoltaik panel, ışık ölçüm cihazları ve elektriksel ölçüm cihazları yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada günışığının farklı renksel ve büyüklük gösterdiği değerler dikkate alınarak, elektriksel güç üretim yetenekleri kıyaslanmıştır. Elde edilen aydınlatma düzeyleri, dalga boyları ve elektriksel güç parametreleri kullanılarak fotovoltaik enerji üretim yetenekleri incelenmiştir. Fotovoltaik enerji üretimi bakımından ışığın yapısı ele alındığında, yarıiletken hücrelerin en büyük voltaj üretimini fotonik algılamanın maksimum olduğu ışınım yapılarında sağladığı görülmektedir.

Düşük renk sıcaklığına sahip ışımada her ne kadar enerji oranı yüksek olsa da, yarıiletken hücrenin algıladığı ışık miktarı az olduğundan üretilen enerji miktarı da az olmaktadır. Yüksek renk sıcaklığına sahip ışımada ise enerji oranı düşük olsa da, yarıiletken hücrenin algıladığı ışık miktarı çok fazla olduğundan üretilen enerji miktarı da fazla olmaktadır.

Gün ışığı olarak adlandırılan, güneşin direkt algılandığı ve çoğu kez 10-16 yerel saatleri arasında gerçekleşen fotovoltaik algılamada ise renksel ve dalga boyutu olarak maksimum enerji seviyelerine ulaşılmasa da çok fazla ışık enerjisine maruz kalma nedeniyle daha fazla foton absorbe edilebildiğinden fotovoltaik elektrik enerjisi üretimi en üst düzeylerine çıkabilmektedir.

Çalışmada deneysel uygulamalar ile elde edilen veriler kullanılarak, ölçüm verileri dışında karşılaşılabilecek ışıksal veriler için, tahmin yöntemleri kullanılarak elektriksel güç üretim yetenekleri üzerinde durulmuştur. Burada ulaşılan sonuçlar ile fotovoltaik panellerin enerji üretim yeteneklerinin daha iyi analiz edilebilmesi sağlanmıştır.

6. KAYNAKÇA

Abbak R. A. (2007), “Jeodezide Zaman Dizilerinin Dalgacık (Wavelet) Analizi”, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı KONYA, 2007 DOI: 10.21276/sb.2016.2.7.5464 Scholars Bulletin ISSN 2412-9771

Açık Bilim (A.B.) Elektromanyetik Spektrum Bize Ne Anlatıyor? (ESBNA) (2013) [Erişim:20/07/2020 <http://www.acikbilim.com/2013/11/dosyalar/elektromanyetik-spektrum-bize-ne-anlatiyor.html>]

Ali S. M., Arjadhara Pradhan, Prabeer Kumar Dash, Batala Krishna Rao, (June 2013), “Analysis of colour spectrum on the performance of photovoltaic cell”, International Journal of Renewable Energy, Vol. 8, No. 1

Cezmi Kardaş (C.K.) “Renk Bilimi & Renk Evreni” (R.B.R.E) (2016) [Erişim: 22/06/2020 <http://www.cezmikardas.com/blog/2016/4/20/renk-bilimi-renk-evreni>]

Çekmen, Z. (2014). Fizyolojik Optik Esaslar. [Erişim: 10/07/2020 <https://docplayer.biz.tr/14916634-Elk462-aydinlatma-teknigi.html>]

Davoudian N., Raynham P., Barrett E., (2014), “Disability Glare: A Study in Simulated Road Lighting Conditions”, Lighting Res. Technol., 46:695-705.

Doğan M., (2011), “Enerji Kullanımının Coğrafi Çevre Üzerindeki Etkileri”, Marmara Coğrafya Dergisi Sayı: 23, Ocak - 2011, S. 36-52 İstanbul – Issn:1303-2429

Enarun D., Erdem L., (2011), “Işığın İnsan Üzerindeki Etkileri”, 2. Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi, 24-27 Kasım, İzmir.

EWT (2020), “Photon Creation and Absorption” [Erişim: 21/07/2020 <https://energywavetheory.com/photons/photon-interactions/>]

Fizik.Net.Tr (F.N.T) (2015), “Işığın Yansıması” [Erişim: 02/05/2020 <https://www.fizik.net.tr/site/isigin-yansimasi-ve-duzlem-aynalar/>]

Harran Üniversitesi (H.Ü.) (2006), “Yarı İletkenler” [Erişim 11/08/2020 <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.

İmal N., Çınar H., (2015), “Fotovoltaik Hücrelere Uygulanan Işınım Yapısının Enerji Dönüşümüne Etkileri” VIII. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Adana

İmal N., Özyürek U., Kaya Z., Şener E., (2017), “Effect of Light Glare in Eye and Camera Detection”, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, India.

Kazem, H. A., & Chaichan, M. T. (2016). “The impact of using solar colored filters to cover the PV panel on its outcomes.”, Bulletin Journal, 2(7), 464-469.

KAYNAKÇA (Devam Ediyor)

Mangkuto A., Kurnia K. A., Azizah D. N., Atmodipoero R. T., Soelami F. X. N., (2017), “Determination of Discomfort Glare Criteria for Daylit Space in Indonesia Rizki”, Solar Energy, 149:151-163

Narendran N., Hickcox K. S., Bullough J. D., Freyssinier J. P., (2013), “Effect of Different Coloured Luminous Surrounds on LED Discomfort Glare Perception”, Lighting Res. Technol., 45:464-475

NTV “Güneşin doğuşunun ve batışının en güzel izlendiği yer” (2018) [Erişim: 20/06/2020 <https://www.ntv.com.tr/galeri/seyahat/gunesin-dogusunun-ve-batisinin-en-guzel-izlendiği-yer-nemrut,YwfjH-YVYkGkbXuUwj0YBQ/vveZSYTYpk-OUtEiS5Bn7A>]

Obay B.D., (2019). “Görme Fizyolojisi”. Dicle Üniversitesi Tıp Fakültesi, [Erişim: 06/06/2020 <https://www.dicle.edu.tr/Contents/c1f85c00-cddf-4490-a4f4-72adb9f619bc.pdf>]

Onaygil, S. (2010). “Fotometrik Büyüklükler ve Aralarındaki Bağlıntılar.” [Erişim: 07/07/2020 http://Web.itu.edu.tr/~onaygil/eut339/isik_fotometrik_buyuklukler.doc]

Özbudak Y. B., Gümüş B., Çetin D.F., (2003). “İç Mekan Aydınlatmasında Renk ve Aydınlatma Sistemi İlişkisi”, 2. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, 8-10 Ekim, Diyarbakır

Sabra, A.I. (1989) “The Optics of Ibn al-Haytham”, The Warburg Institute, Londra,231

Sudhakar, K., Jain, N., & Bagga, S. (2013, February)., “Effect of color filter on the performance of solar photovoltaic module.”, In 2013 International Conference on Power, Energy and Control (ICPEC) (pp. 35-38). IEEE.

Sun C. C., Jiang C. J., Chen Y. C., Yang T. H., (2014), “Glare Effect for Three Types of Street Lamps Based on White Leds”, Optical Review, 3:1-5

Yacinea S. M., Nouredinea Z., Piga B. E. A., Morello E., Safa D., (2017), “Developing Neural Networks to Investigate Relationships Between Lighting Quality and Lighting Glare Indices”, CISBAT International Conference, 122:799-804

Yücel Koçyiğit (Y.K.) (2013), “Elektronik Ders Notları” [Erişim 11/08/2020 <http://yucelkocyigit.cbu.edu.tr/elektronik2.pdf>]

ÖZ GEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Serkan ARKAN
Doğum Yeri ve Tarihi : Ankara / 05.01.1982



Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Elektrik-Elektronik
Mühendisliği

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

İş Deneyimi

Çalıştığı Kurumlar : ELSİS A.Ş., Milli Eğitim Bakanlığı

İletişim

Adres : Çarşı Mah. 72 Evler Cad. Zafer Sit. 5A/8 İnönü/Eskişehir
Tel : 0505 861 66 69
E-Posta Adresi : serkanarkan06@gmail.com

Akademik Çalışmaları:

İmal N., Arkan S., Eymür F., (2019), “In Lamps Power Losses Availability in Building Heating”, International Symposium for Environmental Science and Engineering Research (ISESER) Konya, TURKEY

Tarih : 29/07/2019